

# 2017

## Informe Final

**FIP 2014 - 45**

Determinación de los impactos asociados a los cultivos de macroalgas y moluscos filtradores y su interacción con cultivos de salmónidos

Fondo de Investigación Pesquera  
Subsecretaría de Pesca y acuicultura

Licitación ID: 4728-87-LP14



Universidad  
**ARTURO PRAT**  
del Estado de Chile

**50**  
años



Universidad  
**ARTURO PRAT**  
del Estado de Chile

## **FIP 2014-45**

**Determinación de los impactos asociados a los cultivos de macroalgas y moluscos filtradores y su interacción con cultivos salmónidos.**

Jefe de Proyecto

**Dr. Patricio W. Campos**

### **Equipo de trabajo**

<b>Msc Marcela Ávila</b>	<b>Investigador</b>
<b>Dr. Alejandro Buschmann</b>	<b>Consultor</b>
<b>Ricardo Riquelme</b>	<b>Investigador terreno</b>
<b>M.Sc. María Inés Piel</b>	<b>Investigador cultivos algas</b>
<b>Constanza De Zarate</b>	<b>Investigador terreno</b>
<b>Felipe Pérez</b>	<b>Bioquímico Consultor</b>
<b>M.Sc. Alejandro Clement</b>	<b>Consultor</b>
<b>Macarena Erbs</b>	<b>Ingeniero de proyecto</b>
<b>María Paz Vega</b>	<b>Ingeniero de proyecto</b>

## **Resumen Ejecutivo**

La Acuicultura Multi-Trófica Integrada (IMTA, “Integrated Multi-Trophic Aquaculture”) es una práctica en la que los subproductos derivados (residuos) de una especie son reciclados para llegar a ser ingresos (fertilizantes, alimento y energía) para otros.

En el presente proyecto para el sistema IMTA analizado se usó *Mytilus chilensis* como especie filtradora que capta los residuos orgánicos particulados provenientes de los alimentos y fecas de un sistema de monocultivo de salmones, y como especies bio-remediadoras de materia inorgánica disuelta se puso a prueba tres especies de macroalgas: *Gracilaria chilensis*, *Macrocystis pirifera* y *Gigartina skottsbergi*.

Los experimentos se realizaron en un centro de cultivo de salmón del Atlántico de una empresa ubicada en la zona de Tenaún (entre Quemchi y Dalcahue), Chiloé. Las corrientes en el centro de cultivo se desplazan predominantemente hacia el sur. Los experimentos control se ubicaron a aproximadamente 2.700 y 4.600 m del centro de cultivo. El pelillo cultivado cerca de las balsas jaulas de salmones creció significativamente más que los cultivados en sitios controles. La respuesta en crecimiento de *G. chilensis* estuvo dentro de los rangos informados en otros estudios en Chile como también resultados con otras especies de *Gracilaria*. La tasa de crecimiento diario en biomasa del pelillo fue mayor en las cercanías del módulo de cultivo de salmones respecto a los controles: 3% versus 1%.

Los mejillones no mostraron diferencias de crecimiento significativas que permitieran concluir que actúan como especies mitigadoras de material particulado. De acuerdo a nuestros resultados y los estudios internacionales publicados a la fecha, se estima que los mitilidos no son una buena opción para implementar una estrategia de bio-remediación de la materia orgánica particulada (POM) generada por un monocultivo de salmones.

Es importante conocer los impactos ambientales y medidas de mitigación para el diseño responsable de sistemas de producción acuícola. Una de las principales preocupaciones es la falta de escalamiento industrial con este tipo de estrategia y, en este sentido, se

destaca las iniciativas llevadas a cabo en China, donde se observan importantes esfuerzos por implementar este tipo de estrategia a escalas productivas. A partir de información generada en laboratorio como de prácticas industriales, se ha documentado que el cultivo del alga *Gracilaria* representa un beneficio para el ambiente al ayudar a mitigar la eutroficación, controlar los afloramientos de algas nocivas, mantener la salud de los sistemas de maricultura y jugar un rol en el secuestro del CO<sub>2</sub>. En este sentido, su cultivo representa una buena opción para el mejoramiento del ambiente costero.

Estimaciones teóricas del flujo de nutrientes para un ciclo completo de engorda, indican que un centro de cultivo típico generaría 208.578 kg de Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN). A una tasa de remoción de 0,008 kg de N por metro lineal de pelillo por mes, remover el 100% de estos nutrientes requeriría instalar 5.183 hectáreas de cultivo de pelillo. Con menores exigencias de remoción de DIN, la superficie necesaria de cultivo de pelillo es menor.

## **Abstract**

Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) is the farming, in proximity, of several species at different trophic levels. In the present study, *Mytilus chilensis* was used as a filtering species that captures the organic particulate residues from the food and faeces of a monoculture system of salmon, and as bio-remedial species of dissolved inorganic matter was tested three macro algae: *Gracilaria chilensis*, *Macrocystis pirifera* and *Gigartina skottsbergi*.

The experiments were implementing in an Atlantic salmon farm located in Tenaún, Chiloé. The currents in farm area move predominantly towards the south. Control experiments were located approximately 2,700 and 4,600 m from the salmon farm. *Gracilaria* cultivated near the salmon cages, grewed significantly more than those at control sites. The growth response of *G. chilensis* was similar those reported in other studies in Chile as well as results with other *Gracilaria* species. The *Gracilaria* daily growth rate was higher near the salmon farm than controls: 3% versus 1%.

The mussels did not show significant growth differences between experiments and controls. According to our results and the international studies published to date, it is estimated that the mussels are not a good option to implement a bio-remediation strategy for particulate organic matter (POM) generated by a salmon farm.

Understanding environmental impacts and measures to mitigate them is important for designing responsible aquaculture production systems.

One of the main concerns is the lack of industrial escalation with this type of strategy and, in this sense, highlights the initiatives carried out in China, where there are significant efforts to implement this type of strategy at productive scales. Based on laboratory-generated information and industrial practices, *Gracilaria* algae has been documented as a benefit to the environment by helping to mitigate eutrophication, control harmful algal blooms, maintain the health of mariculture systems and play a role in CO<sub>2</sub> sequestration.

In this sense, its cultivation represents a good option for the improvement of the coastal environment.

Theoretical estimates of the flow of nutrients for a complete growth cycle indicate that a typical salmon farm would generate 208,578 kg of Dissolved Inorganic Nitrogen (DIN). At a rate of removal of 0.008 kg of N per linear meter per month, removing 100% of these nutrients would require installing 5,183 hectares of Gracilaria culture. With lower requirements of DIN removal, the required area of Gracilaria cultivation is lower.

## Índice General

	Pág.
Resumen ejecutivo	i
Abstract	lii
Índice General	v
Índice figuras	ix
Índice de tablas	xi
Índice anexos	xii
Objetivo General	xiii
Objetivos Específicos	xiii
1.- Antecedentes	1
<b>2.- Metodología de trabajo</b>	2
2.1.-Objetivo específico 1: Metodología	2
2.2.- Objetivo específico 2: Metodología	4
2.2.1.- Selección del Centro de Cultivo de Salmónidos	4
2.2.2.- Análisis Preliminar del Centro de Cultivo Seleccionado	5
2.2.3.- Hidrodinámica del área donde se ubica el Centro de Cultivo Seleccionado	5
2.2.3.1.- Mediciones Eulerianas	6
2.2.3.2.- Perfiles verticales de CTDO y Clorofila.	7
2.2.3.3.- Mediciones lagrangianas.	8
2.2.4.- Mediciones de nutrientes	9
2.2.5.- Sistema experimental: Acuicultura Multitrófica.	10
2.2.5.1.- Sistema de Cultivo de Salmónidos	11
2.2.5.2.- Sistema de Cultivo de Mitílicos	11
2.2.5.3.- Sistema de Cultivo de Macroalgas	12
2.2.6.- Selección y justificación de variables a monitorear	14
2.2.7.- Diseño de monitoreo de variables seleccionadas	15
2.2.8.- Crecimiento en Mitílicos	16
2.2.8.1.- Metodología para muestreo de choritos en el laboratorio.	17
2.2.9.- Análisis de costos asociado a instalación y operación de un sistema IMTA	18
2.3. Objetivo específico 3: Metodología	19
2.4. Objetivo específico 4: Metodología	19
<b>3.- Resultados y Discusión</b>	20
3.1.- Objetivo 1: Resultados	20
3.1.1.- Introducción	20
3.1.2.- El desarrollo de la acuicultura en Chile	20
3.1.3.- El cultivo del salmón en Chile	23
3.1.4.- Qué es la Acuicultura Multi-Trófica Integrada	23
3.1.5.- Qué busca solucionar la Acuicultura Multi-Trofica Integrada (AMTI)	26
3.1.6.- Especies estudiadas en el contexto de la IMTA	26
3.1.7.- Experiencia de Cultivo Multi-Trófico Integrado a nivel mundial	27
3.1.7.1.- Asia: China	27
3.1.7.2.- Canadá	30
3.1.7.3.- Estados Unidos	32
3.1.7.4.- España y Portugal	33
3.1.7.5.- Francia	34
3.1.7.6.- Reino Unido	34
3.1.7.7.- Noruega, Suecia y Finlandia	36
3.1.7.8.- Sudáfrica	38
3.1.7.9. Australia	

3.1.8.- El Desarrollo de la Acuicultura Multi-Trófica Integrada (AMTI) en Chile	39
3.1.9.- Monocultivo: El cultivo de peces	44
3.1.10.- Monocultivos: Organismos Filtradores: Moluscos Bivalvos	48
a.- El Cultivo del Mejillón (Mitilidos) en Chile	48
b.- Chorito o Mejillón Chileno: <i>Mytilus chilensis</i> , <i>M. galloprovincialis</i> , <i>M. edulis</i>	50
c.- Impactos del cultivo de moluscos filtradores	51
d.- Fisiología: selección de partículas, parámetros alimentarios y utilización de nutrientes	51
e.- Crecimiento de los Moluscos Bivalvos	53
f.- Los moluscos filtradores como estrategia de mitigación	53
3.1.11.- Macroalgas: biofiltros naturales eficientes con valor económico	55
a.- Impacto ambiental que generan los monocultivos de algas	55
b.- Disponibilidad de nutrientes en el agua de mar	58
c.- Fisiología del nitrógeno	59
d.- Mecanismos de tasas de incorporación	60
e.- Criterios de selección para las macroalgas	62
f.- La elección del mejor candidato	63
3.1.12.-Eficiencia, calidad y viabilidad económica de los Cultivos Multi-Tróficos Integrados	66
3.1.13.- Dificultades y recomendaciones para adopción de AMTI en Chile	69
3.1.14.- Dificultades para escalamiento nivel piloto y comercial resultados experimentales de IMTA	71
3.1.15.- Filtradores y otras especies extractivas	72
3.1.16.- La AMTI en ambientes marinos abiertos – posibilidades y limitaciones	73
3.1.17.- Consideraciones de diseño para los IMTA en aguas marina abiertas	74
a.- Corrientes marinas y fuerzas hidrodinámicas	74
b.- Accesibilidad a nutrientes y energía	75
c.-Temperatura	78
d.- Organismos incrustantes (fouling) y calidad de los productos	78
e.- Interacciones terapéuticas y ambientales entre especies IMTA	79
3.1.18.- Consideraciones básicas sobre factibilidad económica de IMTA en aguas abiertas	80
3.1.19.- Beneficios económico-ambientales	80
3.1.20.- Interacciones terapéuticas y ambientales entre especies	81
3.1.21.- Porcentajes de pérdidas de alimento de la industria del cultivo del salmón	81
3.1.22.- Actualización de recopilación bibliográfica	83
Análisis FODA	89
3.2.- Objetivo 2: resultados	92
3.2.1.- Gestión con empresas salmoneras	92
3.2.1.1.- Selección del centro de cultivo de salmones	92
a.- Salmones Multiexport	92
b.- Marine Harvest:	92
c.- Salmones Camanchaca	93
d.- Salmones Austral Spa	94
3.2.1.2.- Centro de Cultivo de Salmones seleccionado para los experimentos IMTA	95
3.2.2.1.- Caracterización preliminar del área experimental	96
3.2.2.2.- Estudio oceanográfico preliminar del sitio elegido	97
a.- Correntometría en Centro Tenaún (Centro Experimental)	97
b.- Correntometría en Centro de cultivo de salmones Punta Huechuque (Mainstream)	99
c.- Correntometría en el área de Punta Calén, 5,0 km al sur del Centro Tenaún	103
3.2.1.5.- Estudios de hidrodinámica de mareas Sicigia y Cuadratura	104
3.2.1.6.- Resultados de la correntometría Euleriana.	105
3.2.1.7.- Instalación de sistemas de cultivo	109
3.2.1.7.1.- Implementación de experimentos Multitróficos asociados al cultivo de salmones	109
3.2.1.7.2.- Experimentos Control	113
3.2.1.7.3.- Cuelgas de <i>M. chilensis</i> (choritos)	115

3.2.1.7.4.- Criterios de selección y antecedentes de las macroalgas experimentales	116
3.2.1.7.4.1.- Cuelgas de <i>Gracilaria chilensis</i>	118
3.2.1.7.4.2.- Cuelgas de <i>Macrocystis pyrifera</i>	120
3.2.1.7.4.3.- Cuelgas de <i>Gigartina skottsbergii</i>	124
3.2.1.8.- Muestras iniciales	127
3.2.1.8.1.- Cultivos de Macroalgas Integrados a Salmones	128
3.2.1.8.2.- Pelillo ( <i>G. chilensis</i> )	129
3.2.1.8.2.1.- Experimento 1. Primera siembra de pelillo	129
3.2.1.8.2.2.- Experimento 2. Segunda siembra de pelillo	130
3.2.1.8.2.3.- Experimento 3. Tercera siembra de pelillo	134
3.2.1.8.3.- <i>Gigartina skottsbergii</i> (Luga Roja)	136
3.2.1.8.3.1.- Porcentaje de Supervivencia de <i>Gigartina skottsbergii</i>	139
3.2.1.8.4.- Huiro ( <i>M. pyrifera</i> )	140
3.2.1.9.- Contenido de proteína en las macroalgas	142
3.2.2.- Cultivo experimental de mitilidos co-cultivados con salmón	144
3.2.2.1.- Distribución de frecuencias de tallas: análisis descriptivo	144
3.2.2.2.- Peso promedio por individuo	148
3.2.2.3.- Longitud y peso promedio	149
3.2.2.4.- Análisis asociado a costos de implementación	153
3.3.- Objetivo 3: Análisis de información teórica referida al modelo teórico de traspaso de energía	158
3.3.1.- Modelo Bioenergético para Mitilidos	160
3.3.1.1.- Crecimiento de los mitilidos y oferta alimentaria	162
3.3.1.2.- Selección de partículas, parámetros de alimentación y utilización de nutrientes	163
3.3.1.3.- Capacidad Bio-remediadora de los Mitilidos en Sistemas IMTA	165
3.3.1.4.- Los Mitilidos y su potencial como bio-remediador	166
3.3.1.5.- Proporción nutricional sólidos de cultivo peces requeridos por mitilidos reducir carga orgánica neta	168
3.3.1.6.- Modelo de transferencia de masa para mitilidos co-cultivados con salmones	171
3.3.1.7. Otros desafíos en la medición y modelamiento del rol de los mitilidos en el IMTA	176
3.3.1.8. Modelo de salida y retención de sólidos suspendidos en IMTA Salmones -Mitilidos	178
3.3.1.9. Modelo Bioenergético para Algas	177
3.3.2.0. Modelos de Crecimiento para Algas	184
3.3.2.- Modelo de Transferencia de Nutrientes para Salmónidos	187
3.3.2.1.- Estimación de la Tasa de Liberación de Residuos	189
3.3.2.2.- Balance de Masas de C, N y P en Peces	190
3.3.2.3.- Balance de Masa del C, N y P a nivel de Centro de Cultivo	191
3.4.- Objetivo 4: Comparación ambiental entre monocultivos y policultivos	194
3.4.1.- Cálculo del Flujo de Nutrientes y componentes para el Centro de Cultivo Experimental	196
3.4.1.1.- Primer periodo de cálculo: Ciclo de producción completo	196
3.4.1.2.- Segundo periodo de cálculo: Producción salmones en periodo experimentos AMTI	199
3.4.2.- Potencial de Remoción de Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN) por las Macroalgas	200
3.4.2.1.- Cálculos de Remoción del DIN en ciclo productivo completo	201
3.4.2.1.1.- Diseño experimental del módulo de pelillo	201
3.4.2.1.2.- Primer escenario	202
3.4.2.2.- Cálculos de Remoción del DIN generados durante la realización de los experimentos IMTA en el centro de cultivo de salmones.	207
3.4.2.3. Aportes de nutrientes por la salmonicultura en 2014 en las regiones X y XI.	214
3.4.2.4. Otros Modelos: Área necesaria para remover DIN según otras propuestas	216
3.4.3.- Potencial de Remoción de Nutrientes por los mitilidos	219
3.4.3.1.- Potencial de Producción de Mitilidos	219
3.4.3.2.- Resultados de crecimiento de mitilidos en el presente experimento	219

3.4.3.3.- Otros modelos sobre la capacidad bio-remediadora de los mitilidos	221
4.1.- Comentarios y Conclusiones Bibliográficas Generales	225
4.3.- Principales conclusiones del Taller	229
4.3.- Conclusiones	230
4.4.- Desarrollo de las Conclusiones	231
5.- Citas Bibliográficas	234
ANEXOS	255

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Ubicación del correntómetro en el módulo de cultivo del centro Tenaún	6
<b>Figura 2.</b> Ciclo de mareas durante el registro de corrientes entre el 29/08 y 07/09	7
<b>Figura 3.</b> Derivadores de cilindro equipados con GPS Data Logger DG-100	8
<b>Figura 4.</b> Estaciones aguas para determinación nutrientes y perfiles CTDO y Fluorómetro	9
<b>Figura 5.</b> Diseño general esquemático del experimento de cultivo multitrófico	12
<b>Figura 6.</b> Producción mundial de capturas y acuicultura (ton). Datos de FAO 2015.	21
<b>Figura 7.</b> Producción proveniente de la maricultura (ton) de peces, moluscos y algas	22
<b>Figura 8.</b> Producción por especies	22
<b>Figura 9.</b> Diagrama Conceptual de una operación de Acuicultura Multitrófica Integrada	25
<b>Figura 10.</b> Producción acuícola en China por grupos de especies (ton), 2013.	27
<b>Figura 11.</b> Biomasa de <i>G. chilensis</i> en estanques de cultivo de <i>Oncorhynchus kisutch</i>	41
<b>Figura 12.</b> Destino de los nutrientes generados en el cultivo de salmones en jaulas	45
<b>Figura 13.</b> Modelo simple de balance de masa	47
<b>Figura 14.</b> Ciclo del Nitrógeno	57
<b>Figura 15.</b> Ciclo del Fosforo	58
<b>Figura 16.</b> Estadística de cultivo de especies de macroalgas en Chile	64
<b>Figura 17.</b> Modelo general de tasa de recambio de agua y crecimiento eficiencia filtración	67
<b>Figura 18.</b> Vista general de la zona donde se realizarán las experiencias de cultivo integrado	95
<b>Figura 19.</b> Ubicación del Centro de Cultivo de salmones Tenaún y Controles	96
<b>Figura 20.</b> Distribución frecuencias direcciones y velocidades, Centro Tenaún	97
<b>Figura 21.</b> Distribución de corrientes Centro Tenaún. Vector progresivo, magnitud dirección.	98
<b>Figura 22.</b> Distribución de corrientes Centro Tenaún: magnitud y dirección, vector progresivo	99
<b>Figura 23.</b> Distribución frecuencias direcciones y velocidades Centro Punta Huechuque	100
<b>Figura 24.</b> Distribución corrientes Pta Huechuque: vector progresivo, magnitud dirección	101
<b>Figura 25.</b> Distribución corrientes Punta Huechuque: magnitud y dirección, vector progresivo	102
<b>Figura 26.</b> Distribución corriente Punta Calén: vector progresivo, magnitud y dirección	103
<b>Figura 27.</b> Ubicación del correntómetro en el módulo de cultivo del centro Tenaún	104
<b>Figura 28.</b> Ciclo de mareas durante el registro de corrientes entre el 29/08 y 07/09	105
<b>Figura 29.</b> Distribución corrientes en Centro Tenaún: vector progresivo, magnitud y dirección	106
<b>Figura 30.</b> Orientación de módulo de jaulas del centro Tenaún en relación al eje Norte-Sur	106
<b>Figura 31.</b> Distribución de corrientes en Centro Tenaún durante un periodo de <b>Sicigia</b>	108
<b>Figura 32.</b> Distribución de corrientes en Centro Tenaún durante un periodo de <b>Cuadratura</b>	109
<b>Figura 33.</b> Comportamiento de corrientes en torno a Centro de Cultivo de salmones	110
<b>Figura 34.</b> Diseño general del experimento IMTA en centro de cultivo, Tenaún	112
<b>Figura 35.</b> Ubicación de líneas experimentales en el Centro de Cultivo Tenaún	113
<b>Figura 36.</b> Posición de los sitios experimentales y control	114
<b>Figura 37.</b> Diseño de las cuelgas de choritos ( <i>M. chilensis</i> ), sujetas a línea madre	115
<b>Figura 38.</b> Amarre de las cuelgas a la línea madre y una cuelga de chorito	116
<b>Figura 39.</b> Confección de cuelgas de pelillo y preparación de paños con cuelgas de pelillo	117
<b>Figura 40.</b> Unidad o cuadro con pelillo que será colgado de la línea madre	119
<b>Figura 41.</b> Transporte e instalación de los cuadros con cuelgas de pelillo en la línea madre	119
<b>Figura 42.</b> Configuración final de las tres especies de macroalgas experimentales	120
<b>Figura 43.</b> Bolsas plásticas con cultivo de esporas al inicio del cultivo y gametofitos iniciales	122
<b>Figura 44.</b> Esporofitos de vida libre y estantes con cultivos de esporofitos de vida libre	122
<b>Figura 45.</b> Esporofito de 3 a 5 cm listos para ser encordados y esporofito de 3 a 5 cm	123
<b>Figura 46.</b> <i>Gigartina skottsbergii</i> , ejemplares reproductivos de praderas naturales	125
<b>Figura 47.</b> Preparación de los cultivos de <i>Gigartina skottsbergii</i>	125
<b>Figura 48.</b> Red con trozos de luga roja amarrados para ser instalado en el mar	126
<b>Figura 49.</b> Crecimiento promedio en biomasa, primer experimento cultivo pelillo (51 días)	129

<b>Figura 50.</b> Tasa crecimiento promedio primer experimento de cultivo de pelillo (51 días)	130
<b>Figura 51.</b> Crecimiento promedio biomasa segundo experimento cultivo de pelillo (41 días)	131
<b>Figura 52.</b> Tasa crecimiento promedio primer experimento de cultivo de pelillo (41 días)	132
<b>Figura 53.</b> Crecimiento promedio biomasa, tercer experimento de cultivo de pelillo (68 días)	132
<b>Figura 54.</b> Tasa crecimiento promedio tercer experimento de cultivo de pelillo (68 días).	133
<b>Figura 55.</b> Crecimiento promedio biomasa, tercer experimento de cultivo de pelillo (19 días)	134
<b>Figura 56.</b> Tasa crecimiento promedio, tercer experimento de cultivo de pelillo (19 días).	135
<b>Figura 57.</b> Tasa de crecimiento diario del peso de <i>G. skottsbergii</i> durante primavera	136
<b>Figura 58.</b> Tasa crecimiento diario <i>G. skottsbergii</i> durante 1° periodo crecimiento primavera	137
<b>Figura 59.</b> Tasa crecimiento diario <i>G. skottsbergii</i> durante todo de crecimiento (100 días).	138
<b>Figura 60.</b> Porcentaje sobrevivencia en cultivos de <i>Gigartina skottsbergii</i> durante primavera.	139
<b>Figura 61.</b> Plántula de <i>M. pyrifera</i>	140
<b>Figura 61b.-</b> Contenido de proteína relativo <i>G. skottsbergii</i> durante periodo cultivo (100 días)	143
<b>Figura 62.</b> Distribución frecuencia tallas choritos sembrados en las líneas experimentales	144
<b>Figura 63.</b> Distribución frecuencia tallas choritos cosechados en sitios con salmones	145
<b>Figura 64.</b> Distribución frecuencia de tallas de los choritos cosechados en sitio Control 1.	145
<b>Figura 65.</b> Distribución frecuencia de tallas de los choritos cosechados en el sitio Control 2.	146
<b>Figura 66.</b> Distribución tallas cosechadas sector NW del módulo de cultivo de salmones.	146
<b>Figura 67.</b> Distribución tallas cosechadas sector NE del módulo de cultivo de salmones.	147
<b>Figura 68.</b> Distribución tallas cosechadas sector SE del módulo de cultivo de salmones.	147
<b>Figura 69.</b> Distribución tallas cosechadas sector SW del módulo de cultivo de salmones.	148
<b>Figura 70.-</b> Índice de peso/individuo/cuelga (gr/ind/cuelga) a siembra y cosecha final	148
<b>Figura 71.-</b> Longitud valva choritos sembrados versus cosecha	149
<b>Figura 72.-</b> Peso total choritos sembrados versus cosecha.	150
<b>Figura 73.-</b> Peso húmedo promedio por individuo de choritos sembrados versus cosechados	150
<b>Figura 74.-</b> Peso seco promedio choritos sembrados versus cosechados	151
<b>Figura 74a.-</b> Peso húmedo (A) y peso seco (B) choritos cultivados en control y salmón	152
<b>Figura 74 b.</b> Modelo conceptual flujo materia-energía IMTA Salmones, Bivalvos y Macroalgas	159
<b>Figura 75.</b> Representación esquemática del Modelo DEB de la regla-K.	162
<b>Figura 76.</b> Escenario con proporción dietaria mitilidos 80% seston alta calidad y 20% “finos”	175
<b>Figura 77.</b> Flujo y destino de nutrientes generados en centro de cultivo de salmones	188
<b>Figura 77b.</b> Modelo incorporación y extracción nutrientes ambiente intensivo y no intensivo.	195
<b>Figura 78.</b> Flujo nutrientes para periodo engorda en centro de cultivo de salmones	197
<b>Figura 79.</b> Simulación escenarios de líneas pelillo necesaria para extraer total de DIN	206
<b>Figura 80.</b> Simulación escenarios de líneas pelillo necesaria para extraer DIN periodo	213
<b>Figura 81.</b> Simulación escenarios de líneas pelillo necesaria para extraer DIN total industria	216
<b>Figura 82.</b> Ubicación teórica de pluma fecas proveniente de las jaulas de salmones.	220
<b>Figura 83.</b> Modelo balance N para cultivo mitilidos versus fitoplancton	224

## Índice de Tablas

Tabla 1: Funciones y compuestos de elementos esenciales en algas	56
Tabla 2. Especies de macroalgas que han sido utilizadas para el cultivo integrado multitrófico.	65
Tabla 3. Características de las especies seleccionadas	117
Tabla 4. Fechas de siembra, muestreo y cosechas de experimentos de macroalgas	127
Tabla 4a. Tasa de crecimiento diario (%) en biomasa de muestreo y cosecha de macroalgas	128
Tabla 5. Muestreo inicial de Huiro ( <i>M. pyrifera</i> )	141
Tabla 6a. Contenido detallado de proteínas en las algas (gr/100 gr)	142
Tabla 6b. Contenido promedio de proteínas en las algas (gr/100 gr)	143
Tabla 7a. Costo de implementación de cultivo de pelillo en 5 escenarios de remoción de DIN	156
Tabla 7b. Estimaciones de cargas fecales orgánicas de choritos	173
Tabla 8. Valores de los coeficientes del modelo para Contenido de Agua del alimento y pez	190
Tabla 9. Balance de nutrientes en el alimento entregado a los salmones	198
Tabla 10. Balance de masa de nutrientes totales liberados en el ciclo de engorda de salmón	198
Tabla 11. Balance de masa de nutrientes liberados en el ciclo de engorda de salmón	199
Tabla 12. Información productiva del cultivo de salmones y DIN periodo experimentos AMTI	200
Tabla 13.- Simulación de remoción del 100% del DIN generado en centro de cultivo salmones	203
Tabla 14.- Simulaciones remoción 75, 50, 25 y 10% del DIN generado en centro de cultivo	204
Tabla 15.- Área necesaria para extraer fracciones DIN generados meses experimentación	207
Tabla 16.- Simulaciones remoción de 100, 75, 50, 25 y 10% del DIN generado por salmones	208
Tabla 17. Cosecha de salmónidos en las Regiones X y XI. Estimación de alimento entregado	214
Tabla 18.- Balance de nutrientes generados por industria salmones X y XI Regiones 2014.	215
Tabla 19.- Simulaciones remoción 100, 75, 50, 25 y 10% DIN generado salmones Chile 2014	215
Tabla 20. Aporte de POC durante experimento IMTA y potencial de producción de choritos	222

### Índice de Anexos

Anexo I.- Informe de personal participante por actividad	256
Anexo Anexo II Carta Gantt Actualizada	260
Anexo III. Correos electrónicos enviados a Gerencia de Multiexport	260
Anexo IV. Correo electrónico enviado a Gerencia de Asuntos Corporativos de Marine Harvest	261
Anexo V. Correo electrónico enviado a Analista Técnico de Marine Harvest	262
Anexo VI. Presentación enviada a Marine Harvest con justificación de solicitud de centro de cultivo	263
Anexo VII.- Carta de presentación del proyecto emitida por Subpesca para apoyar la gestión ante empresas de cultivo de salmón	265
Anexo VIII.- Respuesta de Marine Harvest y Centro de Cultivo propuesto para realizar experimentos Multitróficos.	266
Anexo IX.- Características del Centro de Cultivo Huenquillahue, propuesto por la empresa Marine Harvest.	267
Anexo X.- Solicitud a la empresa Marine Harvest de un nuevo Centro de Cultivo que cumpla las características exigidas por los TTR.	269
Anexo XI.- Respuesta final negativa de la empresa Marine Harvest de un nuevo Centro de Cultivo que cumpla con las características exigidas por los TTR.	270
Anexo XII. Correos de coordinación para primera reunión con empresa Salmones Camanchaca	271
Anexo XIII. Respuesta negativa final de la empresa Salmones Camanchaca	272
Anexo XIV. Respuesta de la empresa Salmones Austral que autoriza implementar los experimentos multitróficos en el Centro Tenaún	273
Anexo XV. Solicitud de aprobación por parte del FIPA-Subpesca del Centro Tenaún de Salmones Austral, para la realización de los experimentos multitróficos.	274
Anexo XVI. Carta de Invitación a Taller	276
Anexo XVII. Nomina de Invitados a Taller	278
Anexo XVIII. Nómina de Asistentes a Taller	284
Anexo XIX. Evaluación Económica Objetivo 2	287
Anexo XX. Base de Datos	293
Anexo XXI. Informe de Filmaciones Marinas	304

## **Objetivo General**

Identificar y evaluar las interacciones que se presentan entre los cultivos de macroalgas, mitilidos y salmónidos, junto con los posibles impactos asociados a ellos.

## **Objetivos Específicos**

1.- Recopilar información disponible, bibliográfica y de proyectos, nacionales e internacionales, que aporte con antecedentes referentes a los posibles impactos en el medio ambiente, generados por monocultivos (salmónidos, algas y moluscos filtradores) y cultivos multitróficos en donde tanto moluscos filtradores como macroalgas interactúan con los cultivos de salmónidos.

2.- Implementar un sistema experimental de cultivos multitróficos en donde se asocie a un cultivo de salmónidos uno de moluscos filtradores y uno de macroalgas, corroborando las interacciones, los impactos ambientales, identificando la capacidad de remoción de nutrientes del cultivo de salmónidos y estimando costos de dicha implementación experimental.

3.- Realizar un análisis de toda la información teórica existente referida al modelo teórico de traspaso de energía y nutrientes entre los tres grupos, incluidos Cálculos y capacidades de remoción del medio.

4.- Realizar una comparación ambiental entre monocultivos y policultivos que describa las ventajas y desventajas de su aplicación en el medio marino a partir de antecedentes técnicos recopilados en el estudio.

## **1.- Antecedentes**

El éxito económico del cultivo de salmónidos en Chile se debe a la calidad de las aguas y a las condiciones ambientales propias del sur del país, que son altamente favorables en comparación con las regiones del Hemisferio Norte donde también se practica esta actividad, pero en menor intensidad. No obstante, la acuicultura tiene diversos efectos sobre el medio ambiente y la discusión se ha centrado principalmente en cuánto y cómo altera el medio esta actividad y en menor parte, en cómo proceder para desarrollarla de manera sustentable (Buschmann & Fortt, 2005). En relación a la evaluación ambiental sectorial de esta actividad productiva, el Reglamento Ambiental para la Acuicultura (RAMA), previsto en la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA), regula que las actividades de acuicultura se realicen sin sobrepasar las capacidades del cuerpo de agua en donde éstas se desarrollan.

En el cultivo de salmónidos se genera una cantidad significativa de residuos orgánicos a la columna de agua. Sin embargo, la industria salmonera mundial ha implementado varias estrategias que buscan reducir la liberación de nutrientes sólidos y disueltos a los cuerpos de agua que los sustentan: mejores ingredientes, mayor digestibilidad y varias innovaciones en tecnología de alimentación.

La Acuicultura Multi-Trófica Integrada (IMTA por sus siglas en inglés: “Integrated Multi-Trophic Aquaculture”) es considerada como una estrategia de manejo que mejora considerablemente los rendimientos de producción en un sistema de cultivo, debido a que se aprovechan de mejor manera los recursos disponibles para el cultivo.

El objetivo principal del proyecto es identificar y evaluar las interacciones que se presentan entre los cultivos de macroalgas, mitílidos y salmónidos, junto con los posibles impactos asociados a ellos.

## **2.- Metodología de Trabajo**

La Acuicultura Integrada Multi-Trófica (AIMT) es la producción de especies de diferentes niveles tróficos y con funciones de ecosistema complementarios de manera tal que permita que los alimentos y residuos, nutrientes y subproductos no consumidos de una especie sean capturados y convertidos en biomasa por otros (Troell, et al., 2003). Es la combinación de cultivos de peces (v.g. salmónidos) con cultivos de macroalgas que extraen Nutrientes Inorgánicos Disueltos y cultivos de bivalvos filtradores (v.g. mitílidos) que recuperan Nutrientes Particulados Orgánicos

**2.1.-Objetivo específico 1: Recopilar información disponible, bibliográfica y de proyectos, nacionales e internacionales, que aporte con antecedentes referentes a los posibles impactos en el medio ambiente, generados por monocultivos (salmónidos, algas y moluscos filtradores) y cultivos multitróficos en donde tanto moluscos filtradores como macroalgas interactúan con los cultivos de salmónidos.**

Para el cumplimiento de este Objetivo, se realizó una revisión bibliográfica que incluyó antecedentes que aportaran información sobre el impacto ambiental que generan los monocultivos de macroalgas, moluscos filtradores y salmónidos, para contrastarlos con la información que existe respecto a los cultivos multitróficos (el aporte es acumulativo, exponencial o de otro tipo), incorporando toda la información disponible sobre la cuantificación del efecto de remoción generado por el cultivo multitrófico, es decir, todos los antecedentes sobre la base del cálculo teórico de la capacidad de un sistema multitrófico para extraer del medio los nutrientes existentes.

Por otro lado, este análisis incorporó antecedentes que aportan con las normativas internacionales respecto a las distancias o ubicación espacial entre centros, residuos generados y la dinámica de circulación entre otros factores que influyen en estos sistemas de cultivo, además de las ventajas y desventajas de los cultivos multitróficos, incorporando las exigencias ambientales internacionales que existen para ello.

Esta actividad se inició inmediatamente aprobado el proyecto, procediéndose a recopilar todo tipo de información científica y técnica publicada tanto en revistas nacionales como internacionales relacionadas con los impactos positivos y negativos de los monocultivos de macroalgas, moluscos y peces. Además, la revisión incluye el análisis de la literatura relacionada con policultivos y una exhaustiva revisión de la experiencia internacional y nacional con la Acuicultura Multi-Trófica Integrada (Integrated Multi-Trophic Aquaculture, IMTA).

**2.2.- Objetivo específico 2: Implementar un sistema experimental de cultivos multitróficos en donde se asocie a un cultivo de salmónidos uno de moluscos filtradores y uno de macroalgas, corroborando las interacciones, los impactos ambientales, identificando la capacidad de remoción de nutrientes del cultivo de salmónidos y estimando costos de dicha implementación experimental.**

### **2.2.1.- Selección del Centro de Cultivo de Salmónidos**

En común acuerdo con la Subsecretaria de Pesca y Acuicultura, se seleccionó un centro de cultivo de salmónidos de categoría 3 de la Región de Los Lagos, es decir un centro de cultivo con sistemas de producción intensivo, ubicado en ambiente marino, cuyas producciones máximas anuales proyectadas sean superiores a 50 toneladas, en sitios con sustrato blando y profundidades iguales o inferiores a 60 metros (Título I, Párrafo II, literal D ii) de la Res. Ex. (MINECOM) N°3612 de 2009).

Se tomó contacto con las empresas cultivadoras de salmónes Multiexport, Marine Harvest, Trusal y Camanchaca para solicitar el apoyo con un centro de cultivo que cumpla con los requisitos antes mencionados.

Multiexport: Posee centros de cultivo de salmón catalogados en Categoría 3 en la Región de Los Lagos. En contactos con esta empresa durante la elaboración de la presente propuesta, se nos informó del procedimiento necesario para obtener el apoyo oficial de trabajos experimentales en sus centros de cultivo. En primer lugar, se debe elevar una solicitud formal a la gerencia general de la empresa, para que esta ejecute un mecanismo de consulta al directorio de la empresa (cotiza en la bolsa de valores).

Marine Harvest, a través de su Gerencia Técnica, se comprometió a cooperar con un centro de cultivos para evaluar la realización de los experimentos.

Trusal (actual Salmónes Austral), también ofreció facilitar un centro de cultivo para realizar los experimentos propuestos.

Durante la primera etapa, y paralelo a la revisión bibliográfica, se tomó contacto con las administraciones de las empresas de cultivo de salmones que expresaron su disposición a facilitar centros de cultivo, con el fin de disponer de información geográfica, productiva e historia ambiental de los potenciales centros de cultivo, y disponer así de antecedentes para la propuesta y selección del centro de cultivo donde se harán los experimentos (primera reunión de coordinación).

### **2.2.2.- Análisis Preliminar del Centro de Cultivo Seleccionado**

Una vez seleccionado el Centro de Cultivo de salmónidos (en común acuerdo con la contraparte), se solicitó y analizó todos los antecedentes ambientales que disponía la empresa (CPS, INFAs y datos específicos de corrientes). Además, se recopiló información ambiental de otras empresas de cultivo existentes en el área de Tenaún.

Con esta información se hizo un levantamiento preliminar de la dinámica oceanográfica del área donde se ubica el centro de cultivo. El principal objetivo fue conocer el comportamiento de la dirección y magnitud de las corrientes en relación con el régimen de mareas y profundidad.

También se hizo un levantamiento descriptivo (exploratorio) de información batimétrica a partir de 3 fuentes: a) recopilación de información (bases de datos) existentes en servicios públicos, b) digitalización de Cartas Náuticas, c) información de productores.

### **2.2.3.- Hidrodinámica del área donde se ubica el Centro de Cultivo Seleccionado**

En consideración a la influencia que tiene la hidrodinámica del área sobre la dispersión y distribución de los nutrientes a evaluar, se hicieron evaluaciones descriptivas de la hidrografía e hidrodinámica del sector, que complementan los antecedentes obtenidos en la sección anterior (CPS, INFAs, etc.). Estos estudios se realizaron antes y durante los experimentos de acuicultura multitrófica.

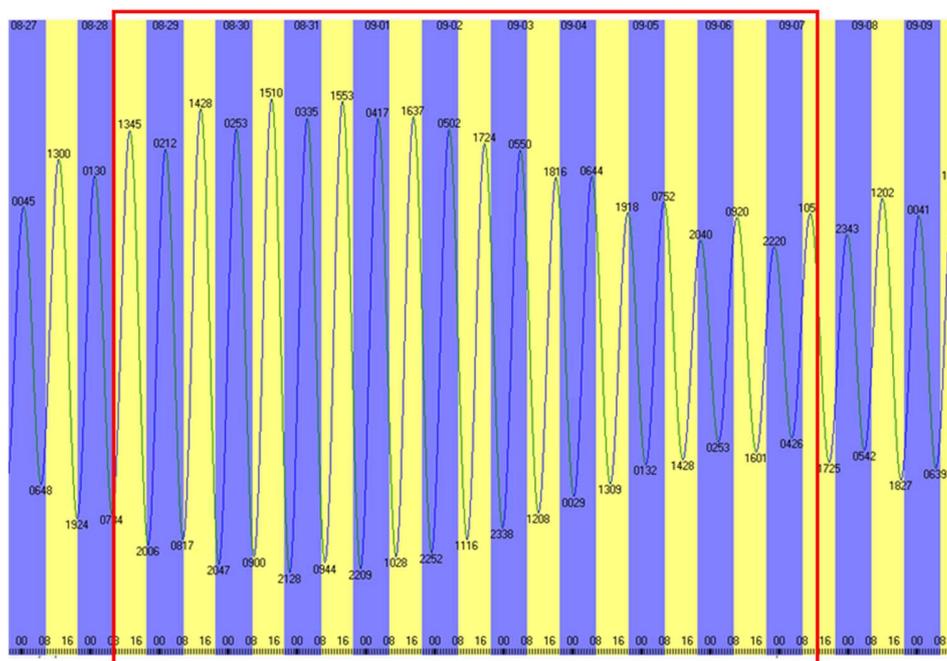
### 2.2.3.1.- Mediciones Eulerianas.

Durante las campañas descritas en esta sección, se instaló un correntómetro en un punto fuera de la concesión de acuicultura y se registró la rapidez y dirección durante un periodo de 10 días.

En primer lugar, se fondeó un correntómetro Innovex Modelo Stream 300-DL, a 6 m de profundidad en la cabecera norte del centro de cultivo Tenaún (Figura 1). Se registró la dirección y velocidad de la corriente cada 10 minutos desde el 29 de agosto a las 10:30 hr hasta el 07 de septiembre a las 17:20 hr, cubriendo un periodo de sicigias y otro de cuadratura (Figura 2). Este estudio se efectuó durante un periodo de sicigia y otro de cuadratura (Figura 2), con el objetivo de conocer la dinámica de las corrientes en un periodo de máxima energía (sicigia) y otro de menor energía (cuadratura). Esto permite analizar la capacidad potencial de las corrientes del sector para dispersar las cargas de nutrientes liberadas del centro de cultivo de salmones.



**Figura 1.** Ubicación del correntómetro en el módulo de cultivo del centro Tenaún.



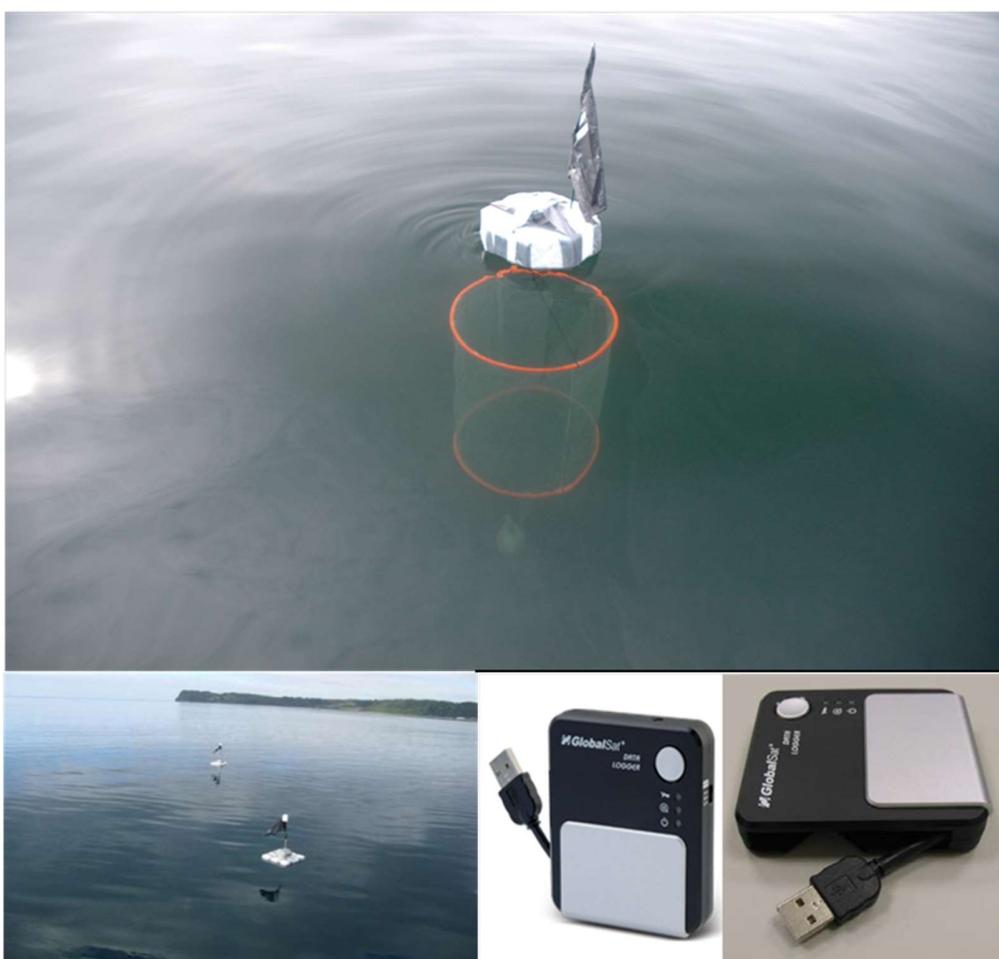
**Figura 2.** Ciclo de mareas durante el registro de corrientes entre el 29 de agosto a las 10:30 hr y el 07 de septiembre a las 17:20 hr (recuadro rojo).

### 2.2.3.2.- Perfiles verticales de CTDO y Clorofila.

Se realizaron mediciones de temperatura, salinidad, oxígeno con un CTDO marca SeaBird Electronics Inc., Modelo 19 *plus* que permitió realizar perfiles continuos in situ en la columna de agua, entregando información de profundidad (o presión), temperatura, salinidad (o conductividad), sigma-t y oxígeno disuelto. También se efectuó una serie de perfiles verticales de clorofila en la columna de agua en puntos representativos de la concesión mediante un Fluorometro Eco-Triplet fabricado y calibrado en Philomath Oregon, WetLabs Inc. A partir de la base de datos, se graficaron perfiles verticales de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y clorofila. Las estaciones de realización de estos perfiles verticales se muestran en la Figura 4, que son las mismas estaciones de toma de muestras para nutrientes.

### 2.2.3.3.- Mediciones lagrangianas.

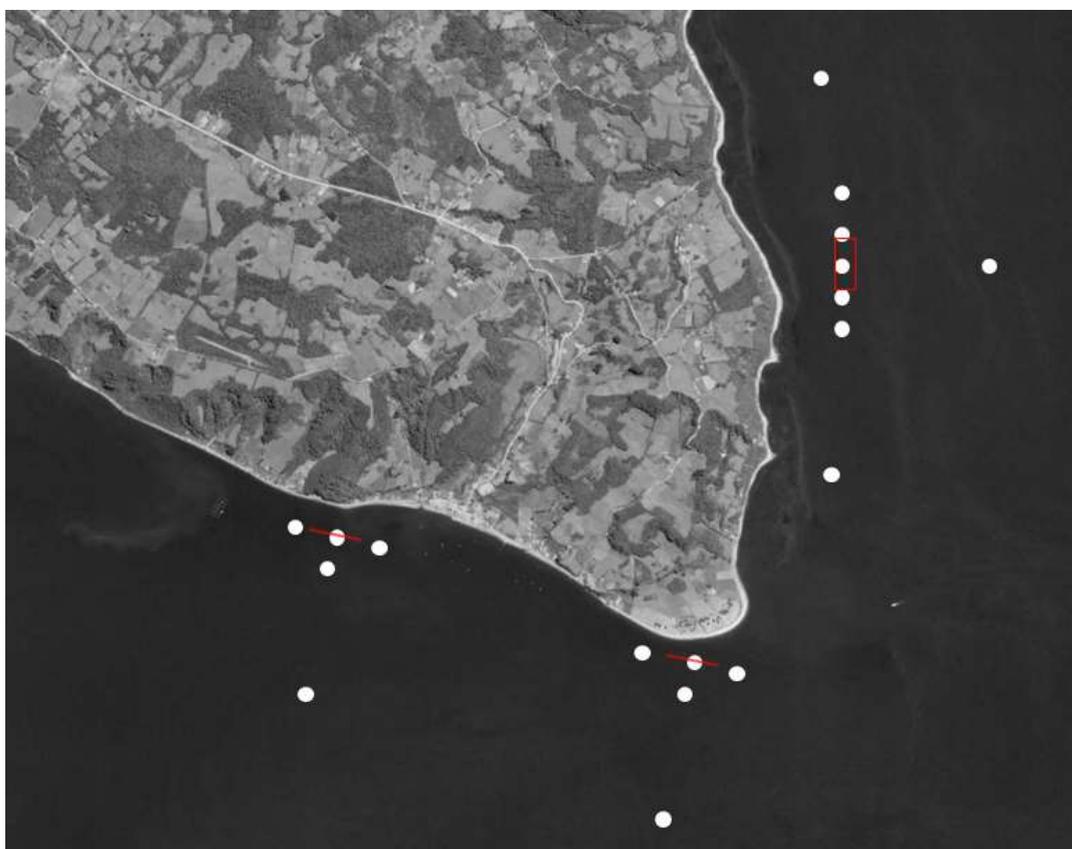
Las trayectorias reales de la velocidad y dirección de las “parcelas” de agua, fueron cuantificadas mediante la siembra de derivadores de pantalla (cilindros de polietileno) equipados con GPS (data logger DG-100 GlobalSat) (Figura 3), con registro continuo cada 20 segundos, a una profundidad de 5 m, tanto en períodos de sicigia como cuadratura. Los resultados geo-referenciados fueron usados para calcular la velocidad promedio y la trayectoria de los derivadores, lo cual permite simular y analizar la dispersión potencial de los nutrientes liberados desde el centro de cultivo.



**Figura 3.** Derivadores de cilindro equipados con GPS Data Logger DG-100

#### 2.2.4.- Mediciones de nutrientes

Las primeras muestras de agua se recolectaron el 31 de octubre de 2015 con una botella Niskin de 5 litros a una profundidad de 5 metros. Se seleccionaron estaciones de muestreo sobre un eje longitudinal que siguiera la dirección principal de la corriente que pasa por el centro de cultivo de salmones, hacia el norte como el sur del módulo, y en estaciones control en puntos fuera de la influencia estimada del módulo de salmón como también en los sitios control que se estimó no eran alcanzadas por las aguas provenientes del centro de cultivo (Figura 4).



**Figura 4.** Estaciones de muestreo de aguas (círculos) para determinación de nutrientes y lances de perfiles CTDO y Fluorómetro. Las figuras en rojo indican el módulo de cultivo de salmones (rectángulo) y las líneas de cultivo control (trazos).

Las estaciones de muestreo se ubicaron hacia ambos lados del eje del centro de cultivo, tanto en marea llenante como en marea vaciante. Durante la marea vaciante, las estaciones de CTDO, Fluorómetro y colecta de agua, estuvieron a 20 m, 200 m y 900 m tanto hacia el norte como el sur del módulo durante la llenante, y una estación control a 800 m hacia el este del módulo (aproximadamente a 1/3 del centro del canal Quicaví). Durante la marea llenante, las estaciones se hicieron a 20 m, 150 m y 500 m tanto hacia el sur como el norte del centro de cultivo. También se hizo una estación dentro del módulo de cultivo de salmones. Las estaciones en los sitios control se ubicaron una al centro del cultivo multitrófico y otras tres a 150 m del cultivo, más una estación control ubicada a 800 m hacia el canal Quicaví (Figura 4).

El agua se almacenó en una botella de plástico previamente lavada con la misma agua de mar e inmediatamente guardada en una caja aislada y enfriada con hielo, para su posterior traslado a laboratorio. Dentro de las primeras 24 horas, el agua fue filtrada a través de filtros de fibra de vidrio (0.7  $\mu\text{m}$ , Whatman GFF), y congelada a  $-20^{\circ}\text{C}$  en botellas de plástico de alta densidad, para su posterior análisis.

El análisis de nitrato y fosfato se realizó de acuerdo a la metodología descrita por Parson et al, (1985) y el Standard Method (Eaton et al., 2005), utilizando un espectrofotómetro Shimadzu UV-1201, equipado con celdas de 1 y 5 cm. Los métodos utilizados para el análisis de nutrientes inorgánicos son los descritos por Jones (1984) para el nitrato y Parsons et al. (1984) para el fosfato.

#### **2.2.5.- Sistema experimental: Acuicultura Multitrófica.**

Con la información de la hidrodinámica del área donde se emplaza el sitio de cultivo de salmones, se diseñó e instaló en terreno un sistema experimental que consistió en la asociación del cultivo de salmónidos con uno de mitílidos y otro de macroalgas, con el cual se pueda calcular, al finalizar el experimento, la tasa de remoción de nutrientes y los efectos en el sector (Figura 5).

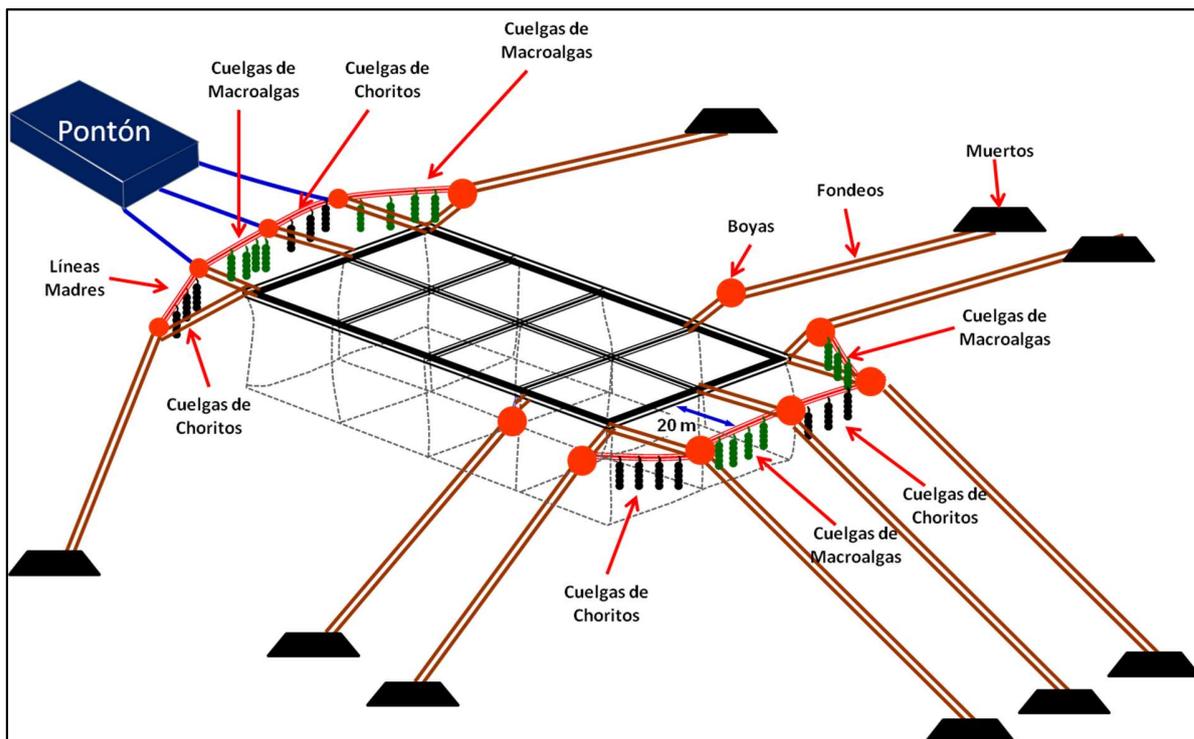
**2.2.5.1.- Sistema de Cultivo de Salmónidos:** La unidad de cultivo de salmónidos (centro de cultivo) se definió en común acuerdo con la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Es un centro Categoría 3 que corresponde, entre otros, a un centro de cultivo con una producción anual proyectada superior a 50 toneladas y ubicado en un área cuya profundidad es igual o inferior a 60 m. La empresa Salmones Australes accedió a implementar el modulo experimental en uno de sus centros de cultivo de categoría 3 de salmon Atlántico (*Salmo salar*), ubicado en las cercanías de la localidad de Tenaun, Isla de Chiloé. Esta especie es la de mayor interés comercial con altos niveles de producción en la industria salmonera.

**2.2.5.2.- Sistema de Cultivo de Mitílicos:** Esta unidad es un cultivo de choritos o mejillones (*Mytilus chilensis*) constituidos por cuelgas similares a las usadas en la industria del cultivo del mejillón en la zona de Chiloé. Las cuelgas de choritos se adquirieron a una empresa de captación de semillas de la zona de Caleta La Arena, Estuario de Reloncaví, Puerto Montt.

Las cuelgas se instalaron en las líneas madres el 17 de septiembre de 2015, con semillas de choritos de una longitud promedio de 1,3 cm. Las líneas madres se diseñaron e instalaron alrededor del centro de cultivo de salmones, según un diseño discutido y acordado con la empresa Salmones Austral. Básicamente, el diseño consistió en instalar cuatro líneas madres de 25 m en ambas cabeceras del módulo de cultivo (Figura 5).

Las líneas madres se instalaron entre las boyas de fondeo de ambas cabeceras del módulo de salmón. La distancia útil entre las boyas es de 30 m. La longitud de las líneas madres es de 25 m. Las líneas madres están a 20 m del módulo de cultivo de salmón (Figura 5).

Sobre estas estructuras se instalaron los cultivos experimentales de mitílicos y macroalgas, según se informa con más detalle en la sección de resultados.



**Figura 5.** Diseño general esquemático del experimento de cultivo multitrófico en el centro de cultivo en la empresa Salmones Austral, Tenaún. Se muestra la posición de las líneas de cultivo de mitilidos y macroalgas en relación con la orientación del módulo de cultivo. El módulo de cultivos se orienta en la dirección de las corrientes predominantes. El módulo de salmones tiene 16 jaulas de 30x30 m.

### 2.2.5.3.- Sistema de Cultivo de Macroalgas:

Esta unidad de cultivo se diseñó de acuerdo a la experiencia del equipo proponente, puesto que no existe la alternativa de comprar unidades de cultivos operativas: no existe una industria consolidada de cultivo de macroalgas.

La selección de las especies de macroalgas utilizadas como biofiltros en el cultivo multitrófico, se basa en dos aspectos: primero, en las características fisiológicas de las algas para crecer y su capacidad de remover nutrientes disueltos y, segundo, en el valor comercial de las especies (Buschmann et al 2001).

Las líneas de cultivo experimental de macroalgas se instalaron en las líneas madres (long-lines), de las mismas características explicadas más arriba y en la Figura 5.

***Macrocystis pyrifera* (huairo).** Las plantas juveniles de esta macroalga se obtuvieron de un centro de cultivo experimental. El tamaño promedio fue de 2,8 cm en promedio y plántulas que se dispusieron en una línea de 2,5 mm de diámetro, cada 40 cm, para luego ser colgadas de las líneas madres a una profundidad de 7 m. Cada línea tiene aproximadamente 100 plantas. Mensualmente se hizo un muestreo al azar de cada línea por separado y no destructivo. Se pretendía evaluar la longitud de las plantas, número de estipes, diámetro del disco y peso de la planta. Los cultivos de *Macrocystis* fueron afectados por las corrientes y se desprendieron las plantas instaladas en las líneas, situación que fue registrada un mes después de la instalación; esto no hizo posible realizar los controles programados.

***Gigartina skottsbergii* (luga roja).** En las mismas líneas de cultivo, a 7 m de profundidad, se instalaron tres redes de 3 x 5 m con *G. skottsbergii* (cultivo vegetativo). Se colectaron frondas de *G. skottsbergii*, las que fueron fraccionadas en trozos de 10 a 15 cm de largo, y amarrados a las redes (se explica con detalle en sección de resultados).

El crecimiento se evaluó mediante registro del peso de los trozos de alga. Para la estimación de la tasa de crecimiento se usó el siguiente algoritmo.

Tasa de crecimiento =  $\ln(\text{longitud final}/\text{longitud inicial})/\text{periodo de crecimiento}$

Después de un periodo de cultivo de 100 días se registró la biomasa total por línea y por profundidad. Se evaluó el contenido de proteínas en el tejido de las algas, enviando la muestra al Laboratorio del INTA en la Universidad de Chile, donde se hizo la determinación mediante el método Kjeldahl, Método LCA PRE 006 según ISP. PRT 711.02 173.

***Gracilaria chilensis* (pelillo).** Se confeccionaron cuelgas de pelillo con algas obtenidas de la zona de Pichiquillaípe (camino carretera austral, cercanías de Puerto Montt). Estas fueron trenzadas formando cuelgas de 3 m de largo y luego instaladas en marcos de cabo de

nylon de 10 mm de diámetro. Las cuelgas fueron amarradas a cabos perimetrales de 10 mm de diámetro, formando cuadros de 4 m x 4m. Estos cuadros se colgaron desde líneas madres con contrapesos de aproximadamente 1 kg, para mantenerlas verticales (más detalles se entregan en la sección de resultados).

### **2.2.6.- Selección y justificación de variables a monitorear**

Para la selección y justificación de las variables a monitorear y el diseño del monitoreo, nos basamos en los resultados de estudios en los que ha participado uno de los integrantes de la presente propuesta (A. Buschmann) y los resultados del proyecto FIP en los que participó como investigadora principal Marcela Ávila y como ayudante de investigación Patricio Campos (FIP-IT/94-01 “Evaluación del efecto de mitigación de aporte de nutrientes al medio, al desarrollar policultivos marinos de salmónidos”).

Desde la perspectiva del crecimiento de las algas y la carga ambiental de residuos, en la mayoría de los casos es relevante concentrarse principalmente en el aporte y remoción del nitrógeno y fósforo. Generalmente, estos nutrientes son los principales factores limitantes del crecimiento de las algas y también constituyen una amenaza potencial para el ambiente (Troell et al., 2003).

Las fracciones de nitrógeno analizadas en los trabajos de acuicultura multitrófica son principalmente el Nitrógeno Amoniacal Total (TAN: suma del  $\text{NH}_4^+$  y el  $\text{NH}_3$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y el Nitrógeno Total (suma del TAN + Nitrito + Nitrato + Nitrógeno Orgánico Disuelto, DON).

El fósforo y su rol son poco estudiados debido a que a) las descargas de efluentes con fósforo son por lo general un orden de magnitud inferior a las descargas de nitrógeno en los efluentes (Chopin et al, 1999b), b) generalmente se considera el segundo factor limitante para el crecimiento de las macroalgas, lejos detrás del nitrógeno en las regiones templadas (pero no en regiones subtropicales o tropicales) , y c) la química de las diferentes fracciones de fósforo en el agua de mar sigue siendo complejo. Sin embargo, la

especiación del fósforo puede ser instrumental para el metabolismo energético y la redistribución de la energía entre los diferentes componentes de un sistema de acuicultura integrada (Troell, et al., 2003).

Los principales residuos del metabolismo del nitrógeno en los peces es el amonio no-ionizado ( $\text{NH}_3$ ). Este compuesto es excretado por los peces principalmente a través de las branquias ( $\text{NH}_3$  y  $\text{NH}_4^+$ ) (NAT). El grado de excreción del amonio depende del contenido de **a) proteínas, b) energía del alimento, c) eficiencia metabólica, d) especie y e) niveles de amonio ambiental** (Wood, 1993).

En resumen, los peces en cultivo en las balsas jaulas liberan al ambiente principalmente, como nutrientes disueltos, amonio y fosfatos, y como material particulado heces y alimento no consumido.

Por lo tanto, las principales variables a monitorear serán los nutrientes inorgánicos disueltos nitrito y nitrato.

### **2.2.7.- Diseño de monitoreo de variables seleccionadas (Selección de los puntos de muestreo: Monitoreo del Cultivo Experimental)**

Se consideró como premisa que el centro de cultivo de salmónidos está orientado en la misma dirección de las corrientes predominantes en la concesión de acuicultura de Tenaún, Salmones Austral. Esta condición se evaluó antes y durante los monitoreos de las variables elegidas.

El monitoreo de nutrientes se coordinó en función de las mareas de cuadratura y sicigia. Esto, porque la dinámica de las corrientes modifica de manera significativa la distribución y dispersión de las variables objeto de estudio. Además, se efectuaron muestreos para tener información de la concentración de nutrientes durante el periodo de máxima producción de salmones en el módulo de cultivo (octubre – diciembre), y otra con aproximadamente el 50% de su biomasa total máxima registrada antes del inicio de las cosechas.

En la propuesta original se propuso instalar las líneas de cultivo de macroalgas en un extremo del módulo de cultivo de salmones y las líneas de choritos en el otro extremo. Sin embargo, tal como se describe en la Figura 5, las líneas con cultivos de algas se dispusieron en forma intercalada con las líneas de mitilidos, tanto en el cabezal norte como en el sur del centro. Esta disposición de las líneas de cultivo fue acordada con la empresa Salmones Australes. Esto se argumentó así, porque se consideró de importancia evaluar la capacidad de remoción de nutrientes disueltos por parte de las macroalgas, sin interferencia de los moluscos bivalvos (estos también excretan amonio, aunque en una menor magnitud que los peces). De acuerdo a los resultados de los estudios de la dinámica oceanográfica, la corriente predominante se observó sólo hacia el sur del módulo, registrándose corrientes más débiles y de corta duración hacia el norte del eje longitudinal del módulo.

#### **2.2.8.- Crecimiento en Mitilidos**

Para evaluar el efecto del cultivo de salmónidos, las cuelgas de mejillón se instalaron en forma transversal a la dirección de la corriente de manera de maximizar la probabilidad que los residuos de las jaulas de salmones pasen a través de las unidades de cultivo de mejillón. Una vez efectuada la siembra se obtienen los datos iniciales de longitud de concha, peso húmedo y seco de la carne y densidad de mejillones por cuelga.

El control del crecimiento y supervivencia de los choritos se hizo con una periodicidad estacional. Para evaluar la condición de los choritos, se midieron los siguientes parámetros que podrían ser afectados por la disponibilidad de alimento: longitud total de la concha, peso vivo total, peso húmedo y peso seco de la carne y peso seco de la valva.

Para esto se muestrearon seis cuelgas de cada experimento. Se extrajeron todos los ejemplares de un tramo de 10 cm de la cuelga, en dos niveles de profundidad: 1 m y 3 m. Estas muestras se guardaron en bolsas de nailon y trasladadas al laboratorio.

### **2.2.8.1.- Metodología para muestreo de choritos en el laboratorio.**

**a.-** Muestra de todos los choritos fijados en un tramo de 10 cm de la cuelga. Densidad numérica/cm de cuerda y promedio global de masa individual total de cada muestra: se pesa cada muestra (peso total) y se contabilizó el número total de ejemplares de la muestra.

**b.-** De la muestra anterior, se tomó una sub-muestra al azar de 60 individuos. Se midió la longitud total de la valva (centímetros) y peso individual (gramos).

**c.-** Sub-muestra estratificada. De los 60 ejemplares anteriores, se tomó una nueva sub-muestra, estratificada por talla, de al menos 20 ejemplares, destinados a representar las 2 ó 3 clases de talla más abundantes en cada muestra. Estos ejemplares fueron pesados y medidos individualmente, luego desvalvados, pesados (peso húmedo) y puestos a secar en un horno por un periodo de 24 a 72 h a 60°C, hasta alcanzar un peso constante, para determinar peso seco de la carne y valvas y contenido de humedad.

**d.-** Una vez seca, la muestra se homogenizó y se realizó análisis de peso ceniza. El contenido de ceniza y materia orgánica del tejido blando (%), se determinó después de incinerar 1 gramo de carne seca molida en una mufla a 480°C por 5 horas. Se calculó el Peso Seco Libre de Ceniza de la carne:  $\text{Peso Seco Libre de Ceniza (g/chorito)} = \text{Peso Seco de la Carne (g/chorito)} \times \text{el Contenido Orgánico de la Carne (\%)}$ .

**e.-** Análisis estadístico: Para la Longitud de concha (L), Peso Vivo (WLW), peso de la carne seca libre de cenizas (AFDMW), se evaluaron los datos a través de Análisis de varianza de dos vías (ANOVA) siendo factores fijos tanto el sitio y como la profundidad.

**2.2.9.- Análisis asociado a costos que implica la instalación y operación de un sistema de cultivo experimental de moluscos filtradores y macroalgas asociados a un cultivo de salmónidos.**

Se recopiló en una planilla Excel los costos de cada uno de los ítems que implica la instalación y operación del sistema de cultivo experimental de moluscos filtradores y macroalgas asociados al cultivo de salmónidos. Se incluyó, entre otros, horas hombre, embarcaciones, costo semillas, costo algas, materiales y equipos, además de otros elementos necesarios para ello.

En el caso de los mitílidos, se recopiló información de mitilicultores para estimar el costo total de construcción de un long-line diseñado según la experiencia lograda durante el estudio y los potenciales cambios de diseño que se estimen convenientes. El diseño utilizado para este estudio fue discutido y acordado en reunión realizada con la gerencia de la empresa Salmones Austral (Sr. Andrés Rosa, Gerente de Producción y Área Técnica y Sr. Patricio Mansilla, Subgerentes de Logística) y ajustado con el Jefe de Área Sr. Juan Villalobos y el Jefe de Centro Sr. Donald Nash, con el fin de no alterar o interferir con las operaciones del cultivo de salmones.

**2.3. Objetivo específico 3: Realizar un análisis de toda la información teórica existente referida al modelo teórico de traspaso de energía y nutrientes entre los tres grupos, incluidos cálculos y capacidades de remoción del medio.**

Para dar cumplimiento al objetivo específico 2.3, se recopiló información de resultados de experiencias de Acuicultura Multi-Trófica Integrada (IMTA) publicada por grupos de investigadores dedicados a evaluar estrategias de acuicultura sustentable, especialmente del “Canadian Integrated Multi-Trophic Aquaculture Network, University of New Brunswick” a cuyo grupo pertenece uno de los investigadores participantes en el presente proyecto.

**2.4. Objetivo específico 4: Realizar una comparación ambiental entre monocultivos y policultivos que describa las ventajas y desventajas de su aplicación en el medio marino a partir de antecedentes técnicos recopilados en el estudio.**

Para dar cumplimiento a este Objetivo Específico, una vez analizado todos los datos entregados por el monitoreo de las variables ambientales y oceanográficas del sistema experimental, junto con los antecedentes bibliográficos recopilados, se realizó una comparación entre un monocultivo de salmónidos y un cultivo multitrófico (salmónidos, algas y moluscos filtradores), considerando los impactos que genera cada sistema en el medio marino.

### **3.- Resultados y Discusión**

**3.1.- Objetivo 1. Recopilar información disponible, bibliográfica y de proyectos, nacionales e internacionales, que aporte con antecedentes referentes a los posibles impactos en el medio ambiente, generados por monocultivos (salmónidos, algas y moluscos filtradores) y cultivos multitróficos en donde tanto moluscos filtradores como macroalgas interactúan con los cultivos de salmónidos.**

#### **3.1.1.- Introducción**

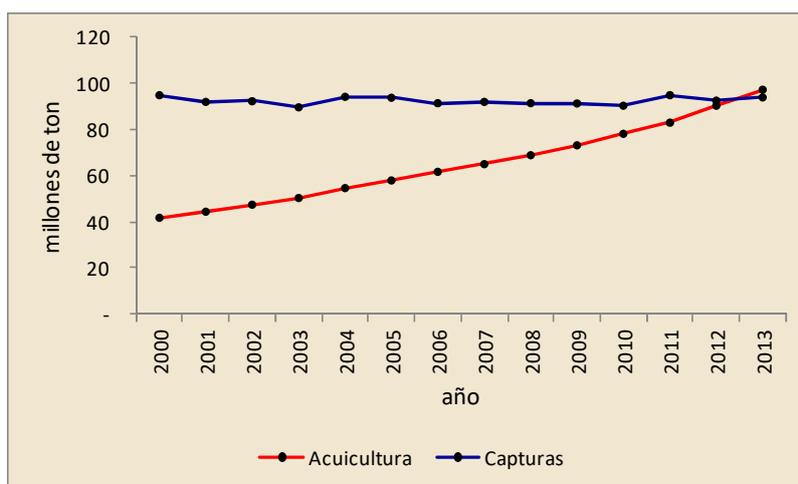
El desarrollo de la acuicultura en el mundo está creciendo sostenidamente como alternativa al uso de recursos pesqueros que son cada vez más escasos (Duarte, et al., 2007). Con el fin de alcanzar los requerimientos pesqueros mundiales, el desarrollo de la acuicultura está realizando esfuerzos tecnológicos y productivos para expandirse hacia zonas geográficas climáticamente más extremas (hacia latitudes altas) e incluso en condiciones de mar abierto (Troell, et al., 2009). Por otro lado, actualmente la acuicultura está bajo estricto escrutinio público con el fin de compatibilizar el desarrollo económico/social con la conservación del patrimonio ambiental.

La acuicultura es el sector de producción de alimento con mayor crecimiento a nivel mundial, con un crecimiento promedio de 6,9% anual (FAO, 2009). Este rápido desarrollo enfrenta algunas limitaciones en la disponibilidad de áreas adecuadas y la capacidad de carga ecológica de los sitios ya existentes (Troell, et al., 2009)

#### **3.1.2.- El desarrollo de la acuicultura en Chile**

Siguiendo el agotamiento global de las pesquerías, la acuicultura se ha transformado en un actor relevante en diferentes regiones (Jackson, et al., 2001; Worm, et al., 2009). En la actualidad, sobre el 50% del total de los productos marinos son generados a partir de diferentes tipos de prácticas de maricultura (Figura 6). Sin embargo, la acuicultura en los países occidentales ha tenido un desarrollo menor y sólo dos de ellos están incluidos en la lista de los diez principales productores, como es el caso de Chile y Noruega. En estos

dos países, la acuicultura está basada principalmente en peces marinos de alto valor (principalmente salmón). En la medida que la acuicultura está orientada por criterios económicos, se promueve el desarrollo de organismos carnívoros (acuicultura intensiva), y existe menos interés por cultivar especies con menor valor comercial pero con menos impacto ambiental.

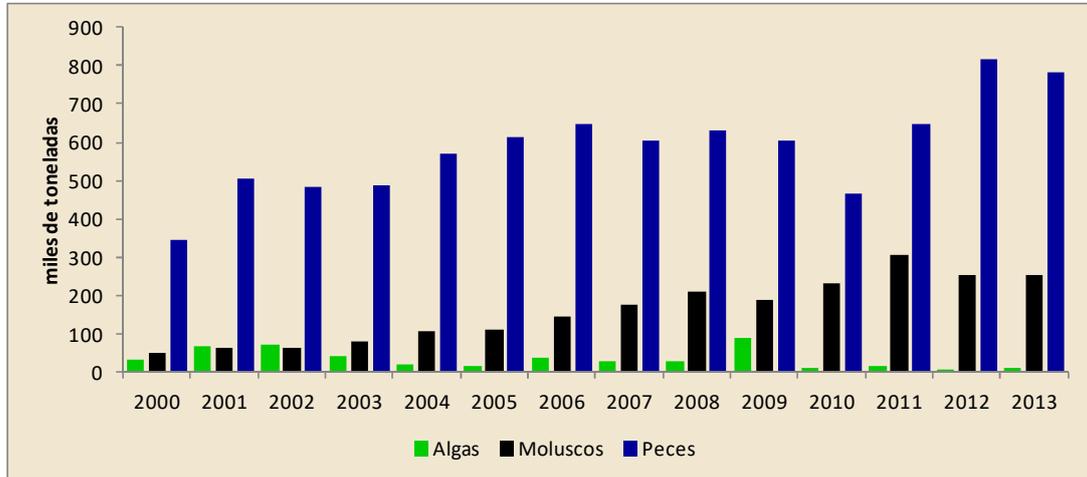


**Figura 6.** Producción mundial de capturas y acuicultura (ton). Datos de FAO 2015.

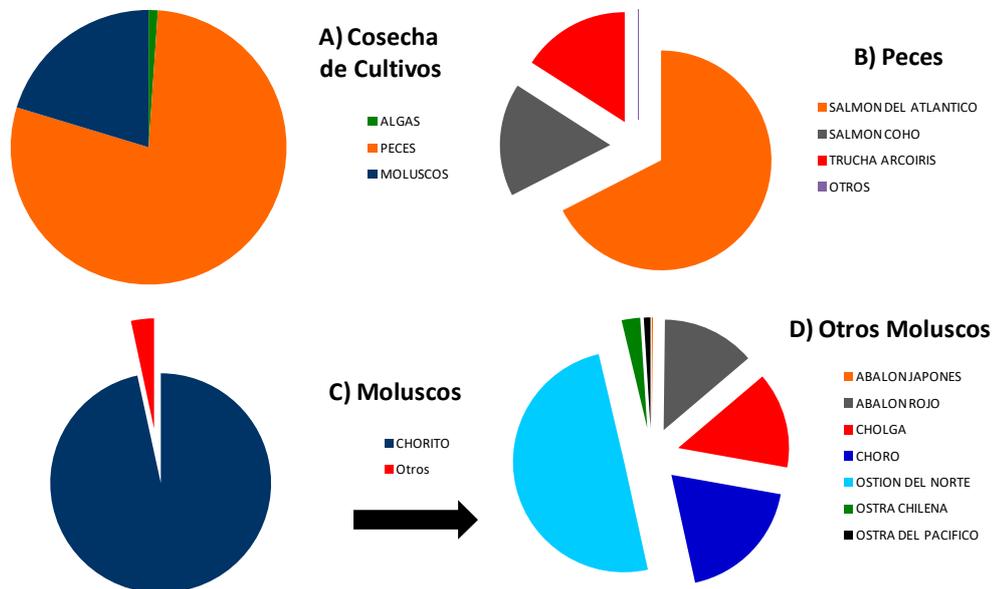
En Chile los peces representan hasta aquí la mayor biomasa de especies en cultivo (sobre 955.182 toneladas para año en 2014), siendo los salmones los más relevantes (Figura 7)

En Chile existe una larga tradición en el cultivo de mitilidos. Esta actividad ha aumentado significativamente su producción llegando a las 246 mil toneladas en 2014 (Figura 7). En la actualidad también está siendo cultivada una diversidad de moluscos, incluyendo ostiones, abalones, ostras y especies de mitilidos (Figura 8). Finalmente, las macroalgas también están bajo cultivo, especialmente *Gracilaria chilensis*, con un registro de aproximadamente 12 mil toneladas en 2014 (Figura 8), pero durante los últimos 5 años las microalgas también han sido comercialmente cultivadas en estanques para obtener bio-compuestos especiales. En los últimos años se han desarrollado algunos cultivos pilotos de laminariales de la especie *Macrocystis pyrifera* para la alimentación de abalones y a nivel

experimental para la producción de biocombustibles abriendo una nueva alternativa para el establecimiento de la Acuicultura Multitrófica Integrada en Chile (Figura 8).



**Figura 7.** Producción proveniente de la maricultura (ton) de peces, moluscos y algas durante los últimos 14 años en Chile. Datos de FAO 2015.



**Figura 8.** Producción por especies (ton) de A) Total, B) Peces C) Moluscos y D) Otros Moluscos en 2014 en Chile. Datos de Sernapesca, 2014.

### **3.1.3.- El cultivo del salmón en Chile**

El cultivo del salmón en Chile se inició a comienzos de los años 1980 y se desarrolló a una tasa explosiva, al punto que en la actualidad Chile es el segundo productor más grande de salmón en el mundo, detrás de Noruega. El sistema de cultivo en balsas jaulas está geográficamente concentrado en el sur de Chile. El crecimiento explosivo, asociado con una fuerte percepción de éxito, impidió el desarrollo y adopción de estrategias de cultivo que pudieran introducir mayores niveles de regulaciones precautorias sanitarias y ambientales (Barton & Fløysand, 2010), como la adopción del Cultivo Multi-Trófico Integrado (Buschmann, et al., 2009). En Chile, siguiendo las tendencias del Hemisferio Norte, las preocupaciones acerca de la naturaleza insostenible de la acuicultura intensiva comenzaron a surgir sólo en la segunda mitad de los años 1990 (Buschmann, et al., 1996a). Varios estudios comenzaron a mostrar diferentes tipos de consecuencias ambientales (Soto & Norambuena, 2004; Buschmann, et al., 2006; Fortt, et al., 2007; Buschmann, et al., 2009)

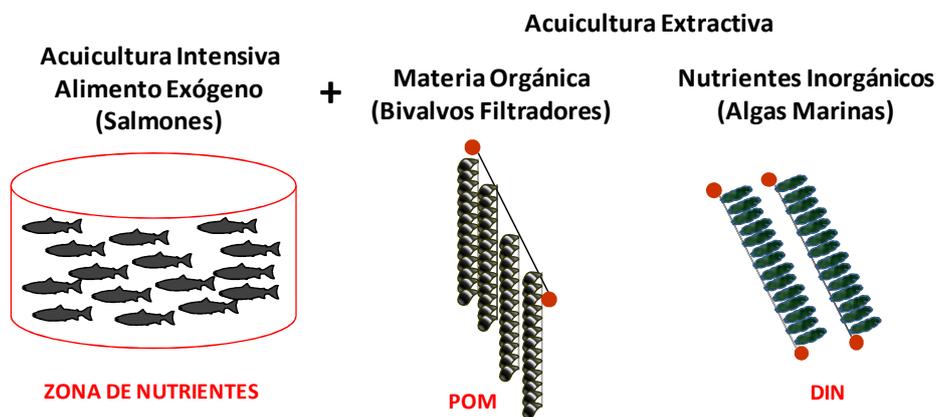
### **3.1.4.- Qué es la Acuicultura Multi-Trófica Integrada**

La **Acuicultura Multi-Trófica Integrada (IMTA)** (Integrated Multi-Trophic Aquaculture, **IMTA**) es el cultivo integrado de especies alimentadas con alimento exógeno (v.g. salmones), especies extractoras de nutrientes inorgánicos tales como las macroalgas y especies extractoras de nutrientes orgánicos particulados como los suspensívoros y depositívoros (Chopin, et al., 2001; Neori, et al., 2004; Troell, et al., 2009). Es una práctica en la que los subproductos derivados (residuos) de una especie son reciclados para llegar a ser ingresos (fertilizantes, alimento y energía) para otros. Especies cultivadas en forma intensiva (v.g. salmones y camarones) son combinados, en proporciones adecuadas, con especies que extraen nutrientes orgánicos (v.g. suspensívoros, depositívoros, peces herbívoros) y especies que extraen nutrientes inorgánicos (v.g. algas marinas) (Figura 9), para alcanzar una estrategia de manejo balanceado del ecosistema que considera la especificidad del sitio de cultivo, límites operacionales, normas y regulaciones de

seguridad alimentaria. Es una estrategia de manejo ecosistémico balanceado cuyo objetivo es mejorar, a largo plazo, la sustentabilidad y rentabilidad por unidad de cultivo (no por especie, como ocurre con las prácticas de monocultivo), mediante la recaptura de algunos nutrientes y energía que se pierden en los monocultivos de peces y transformarlo en biomasa adicional con valor comercial (Troell, et al., 2009). También ha sido utilizada para el tratamiento de aguas de desecho en la industria de productos marinos como un modelo sustentable, que reduce los contaminantes producidos generando biomasa como un recurso (De Nys, 2016).

Lo **Multi-Trófico** se refiere a la incorporación de especies de diferentes niveles tróficos o nutricionales en los mismos sistemas (Chopin & Robinson, 2004; Chopin, 2006). Esta es una distinción potencial respecto a la antigua práctica del **policultivo** acuático, el cual podría simplemente ser el co-cultivo de diferentes especies de peces del mismo nivel trófico. En este caso, todos estos organismos pueden compartir los mismos procesos biológicos y químicos, con pocos beneficios sinérgicos, pudiendo inducir potencialmente cambios significativos en el ecosistema. Algunos sistemas tradicionales de policultivo pueden, de hecho incorporar una mayor diversidad de especies, ocupando varios nichos, como cultivos extensivos (baja intensidad, bajo manejo) dentro del mismo estanque. Lo Integrado en IMTA se refiere al cultivo más intensivo de especies diferentes en proximidad una de otra, conectados por transferencias de nutrientes y energía a través del agua.

**ACUICULTURA MULTI-TRÓFICA INTEGRADA**



**Figura 9.** Diagrama Conceptual de una operación de Acuicultura Multitrófica Integrada que combina la Acuicultura Intensiva de Alimentación Exógena (Salmones) con la Acuicultura Extractiva Orgánica (Bivalvos Filtradores) beneficiándose del enriquecimiento en Materia Orgánica Particulada (POM) y la Acuicultura Extractiva Inorgánica (Algas Marinas), beneficiándose del enriquecimiento en Nutrientes Inorgánicos Disueltos (DIN); modificado de (Barrington, et al., 2009)

### **3.1.5.- Qué busca solucionar la Acuicultura Multi-Trófica Integrada (AMTI)**

En los últimos años la preocupación ambiental por la rápida expansión de los sistemas de maricultura intensiva ha renovado el interés por este tipo de acuicultura integrada (Chopin, et al., 2001). La Acuicultura Multi-Trófica Integrada (AMTI) es un concepto extremadamente flexible. Puede ser aplicado a sistemas que operan en aguas expuestas o en tierra, y sistemas marinos o de agua dulce (algunas veces llamados “acuapónicos” o “acuicultura particionada”). Lo importante es que se eligen organismos apropiados basados en las funciones que tienen en el ecosistema y además por su valor comercial o potencial económico. De hecho, más importante aún es que la AMTI se diseña recreando un sistema de cultivo ecosistémico simplificado que esté en balance con su medio y no introducir una biomasa de cierto tipo esperando que esta pueda ser cultivada aislada de todo lo demás (Barrington, et al., 2009). Sin embargo, la Acuicultura Multi-Trófica Integrada va más allá de la sustentabilidad ambiental: proporciona diversificación económica y reduce el riesgo económico cuando se elige las especies apropiadas, y mejora la aceptabilidad del sector acuicultor en su conjunto por el hecho de usar prácticas evaluadas como responsables por la industria, los reguladores y el público en general .

En la actualidad, los sistemas más avanzados de AMTI en ambientes marinos expuestos tienen tres componentes (peces, organismos suspensívoros como los moluscos y algas marinas, tanto en jaulas como en balsas), pero son sin lugar a dudas sistemas simplificados (Barrington, et al., 2009).

### **3.1.6.- Especies estudiadas en el contexto de la IMTA**

En los últimos 15 años, se ha examinado y estudiado la integración de las algas marinas con el cultivo de peces marinos en Canadá, Japón Chile, Nueva Zelanda, Escocia Noruega y los Estados Unidos (Petrell, et al., 1993; Hirata & Kohirata, 1993; Buschmann, et al., 1994; Buschmann, et al., 2008b; Petrell & Alie, 1996; Troell, et al., 1997; Troell, et al., 2003; Chopin & Yarish, 1998; Chopin, et al., 1999; Chopin, et al., 2001; Neori, et al., 2004; Halling, et al., 2005; Kimura, et al., 2007; Stenton-Dozey, 2007; Sanderson, et al., 2008; Abreu, et al., 2009) (Sandberg, et al., 2016).

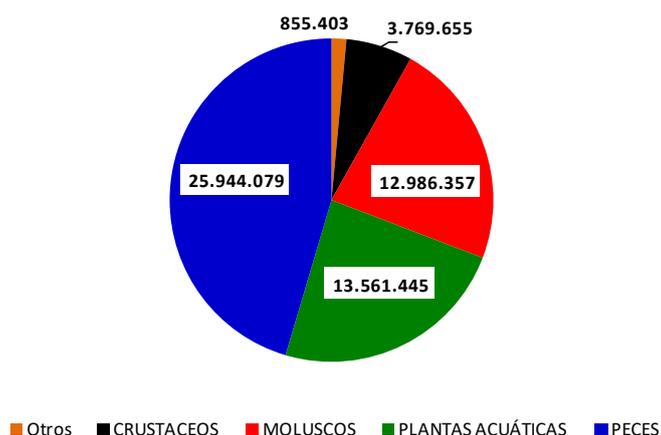
También se ha estudiado en varios países la integración de **mejillones y ostras** como biofiltradores en centros de cultivo de peces, incluyendo Australia, Estados Unidos, Canadá, Francia, Chile, España (Jones & Iwama, 1991; Taylor, et al., 1992; Stirling & Okumus, 1995; Troell & Norberg, 1998; Mazzola & Sara, 2001; Cheshuk, et al., 2003; Langan, 2004). Recientemente también se ha revisado el rol en la IMTA de las **algas marinas** (Buschmann, et al., 2001b; Chopin, et al., 2001; Neori, et al., 2004), los **bivalvos** (Troell, et al., 1999a) y **crustáceos** (Troell, et al., 1999b; Jones, et al., 2002). Los cultivos integrados con enfoque comercial en el mundo occidental solo se han instalado en la última década (Chopin, 2013).

### **3.1.7.- Experiencia de Cultivo Multi-Trófico Integrado a nivel mundial**

#### **3.1.7.1.- Asia: China**

En 2013 Asia generó sobre el 91% de la producción acuícola mundial (total: 97.201.872 ton; Asia: 89.357.605; China: 57.113.175) (FAO, 2015). De esta cifra de producción de Asia, China aportó con el 64%.

La mayor producción acuícola en China son los peces, seguido de las plantas acuáticas y moluscos (Figura 10)



**Figura 10.** Producción acuícola en China por grupos de especies (ton), 2013. Datos de FAO, 2015.

China utiliza dos tipos de acuicultura marina multi-trófica integrada: sea-ranching y cultivos suspendidos. El primero, está orientado principalmente a la repoblación de poblaciones naturales y, el segundo, es más de tipo intensivo. Este último se practica principalmente en la bahía de Sungo donde se cultiva el ostión (*Chlamys farreri*, 2.100 ton peso fresco en 2005), ostra (*Crassostrea gigas*, 110.000 ton peso fresco), un alga laminaria (*Laminaria japonica*, 80.000 ton peso fresco), el abalón (*H. discus hannai*, 1.000 ton peso fresco) y en menor medida el mejillón azul (*M. edulis*) (Barrington, et al., 2008). Se ha estimado que el **nitrógeno disuelto** excretado por los **ostiones** en esta bahía (2 billones de individuos) alcanza a las **284 toneladas** durante el periodo de cultivo de las laminarias. De igual modo, la excreción de **nitrógeno inorgánico** por parte de los **mejillones** en la bahía (0,27 billones de individuos) suma más de **11 toneladas**. Junto con la excreción de otros organismos incrustantes como los tunicados y ostras, la excreción total de nitrógeno inorgánico de los animales cultivados e incrustantes en la bahía llega a más de 300 toneladas. Se llegan a producir anualmente 20 mil toneladas de algas secas a través del consumo del nitrógeno inorgánico generado en la bahía. El cultivo de algas laminarias en sistemas de líneas se ha expandido hacia áreas distantes a más de 8 km de la línea de costa, donde la profundidad del agua es de 20 a 30 m y velocidad de la corriente llega hasta los 60 cm/s (Troell, et al., 2009).

También hay experiencias de granjas marinas multi-específicas a gran escala en la Isla de Zhangzidao. Por lo general, las granjas marinas se practican para el fortalecimiento de los stocks naturales, pero considerando la escala e intensidad a la cual se practican en algunos cuerpos de agua en China, significa que se trata realmente de acuicultura sobre sustratos naturales (Barrington, et al., 2009).

En un reciente informe (Shuanglin, et al., 2013), se revisa los conceptos, ecología y fundamentos económicos de las prácticas de la maricultura integrada en China y revisa casos de estudios de policultivo exitoso aplicados en las costas de los mares y estanques de China.

La producción integrada es una práctica común en China (especialmente en la acuicultura en tierra), y se conocen una gran variedad de tipos y especies en cultivo. Los fundamentos ecológicos detrás de la mayor parte de estos sistemas integrados son la recuperación de residuos a través de las relaciones tróficas, mantención del balance ecológico mediante la complementación o comensalismo de las especies en cultivo o sistemas de producción, haciendo uso total de los recursos (tiempo, espacio y alimento natural) de los sistemas de cultivo y prevención ecológica de enfermedades.

La acuicultura Integrada en China se clasifica en tres grupos:

- i) Integración de funciones químicas complementarias
- ii) Integración de especies que incluyen la integración trófica, espacial y temporal, cosecha y siembra rotatoria, e integración multi-funcional;
- iii) Integración de sistemas que incluyen la integración de sub-grupos de sistemas acuáticos y la integración de sistemas acuáticos y terrestres.

El IMTA no sólo implica la integración de diferentes especies sino que también debe considerarse la **proporción entre especies** para balancear los nutrientes en el ecosistema. El análisis del balance de carbono ilustra que los moluscos y algas en las zonas costeras pueden utilizar una fracción significativa de carbono oceánico, mejorando potencialmente de este modo la capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> atmosférico.

El desarrollo de la acuicultura y el cultivo integrado en China tiene una larga historia. China fue el primer país en el mundo en cultivar peces y los cultivos de carpas en estanques pueden ser trazados en el tiempo hasta el siglo XI antes de nuestra era. El primer registro de integración entre acuicultura y agricultura es China data desde el año 220-265 después de nuestra era (cultivo integrado de arroz y carpa).

En la actualidad, la maricultura integrada se ha convertido en una práctica común en China, especialmente el cultivo en estanques. Sin embargo, los registros de maricultura en estanques sólo se encuentran en las últimas cuatro décadas. En 1979 se informó de la maricultura integrada en estanques del camarón chino y el lucio, pero el auge del

policultivo en China comenzó realmente a partir de los años 1980: camarón chino y almeja; camarón, lucio, lisa y tilapia; camarón, lisa y ostra, como también se informa de experiencias de policultivo de camarones y algas que mejoraron la producción de camarón en alrededor de 29%.

Se informa (Shuanglin, et al., 2013) que en China existen varias posibilidades de co-cultivo que están en uso en la actualidad para la producción acuática integrada, ya sea en sistemas en estanques marinos y cultivos en aguas abiertas a lo largo de la península de Shandong:

- Cultivo integrado de camarones, almejas y macroalgas en estanques
- Cultivo integrado de camarones y tilapia en estanques
- Cultivo integrado de pepinos de mar y camarones en estanques
- Cultivo integrado de pepinos de mar y ostiones/medusas en estanques
- Cultivo integrado de abalones y macroalgas (suspendidos) en ambientes marinos abiertos
- Cultivo integrado de abalones y macroalgas y pepinos de mar (suspendidos) en ambientes marinos abiertos
- Cultivo integrado de abalones y macroalgas, pepinos de mar y almejas (bentónicos) en ambientes marinos abiertos
- Cultivo integrado de peces, bivalvos y macroalgas en ambientes marinos abiertos

### **3.1.7.2.- Canadá**

En Canadá, el cultivo de salmones y truchas, peces bento-demersales (bacalaos y merluzas), y moluscos (ostras, ostiones y mejillones) se ha estado desarrollando desde hace varios años.

Canadá produjo en 2013, 130.338 ton de salmónidos y 41.759 ton de moluscos (FAO, 2015). La mayor parte de los cultivos son monocultivos intensivos. El mejillón azul (*Mytilus*

*edulis*) domina la producción de moluscos con el 70% del volumen (29.079 ton), mientras que las ostras (*Crassostrea virginica* y *Crassostrea gigas*) constituyen el 30%. Las macroalgas (i.e. *Laminaria*, *Saccharina*; *Alaria*; *Ascophyllum*, *Fucus*; *Furcellaria*, *Palmaria* y *Chondrus*), aunque no son cultivadas, han sido cosechadas desde praderas naturales (Barrington, et al., 2009).

En los últimos ocho años, en la costa este de Canadá (Bahía de Fundy) se cultiva en forma integrada el salmón del Atlántico (*Salmo salar*), macroalgas (*Saccharina latissima* y *Alaria esculenta*) y el mejillón azul (*Mytilus edulis*). Las tasas de crecimiento de las algas y mejillones en las cercanías de los sitios de cultivo de salmones han sido 46 y 50% más altos, respectivamente, que lo observado en sitios de control. Esto refleja el aumento de nutrientes y la disponibilidad de alimento proveniente de las jaulas de salmones (Chopin, et al., 2004; Lander, et al., 2004). Se están monitoreando los niveles de oxígeno, biomasa y nutrientes para estimar el potencial de bio-mitigación de un Centro de Cultivo Multi-Trófico Integrado y se están modelando las cargas de nutrientes sólidos y solubles de los salmones como una etapa inicial hacia el desarrollo de un modelo de Acuicultura Multi-Trófica Integrada (AMTI) completamente flexible.

Se han realizado dos estudios de percepción hacia el cultivo del salmón en general, y el AMTI en particular (Ridler, et al., 2007). El primer estudio reveló que el público en general es más negativo hacia las prácticas de monocultivo actuales y piensa que las prácticas AMTI serán exitosas. En segundo lugar, un estudio de “focus group”, mostró que la mayoría de los participantes piensan que los AMTI tienen el potencial para reducir los impactos ambientales del cultivo del salmón (Barrington, et al., 2008).

Concurrentemente con los resultados positivos de los sistemas AMTI en la costa este de Canadá, se ha implementado un proyecto relacionado con la factibilidad del cultivo de peces-moluscos-macroalgas en la costa oeste de Canadá, en aguas de British Columbia, en las costas de la Isla de Vancouver (Cross, 2004). A partir de 2006, se evaluó si al cultivar un rango de especies – incluyendo moluscos (mejillones, ostras y ostiones), macroalgas (*Saccharina latissima*), pepinos y erizos de mar – podría ayudar a reducir los impactos

ambientales del cultivo de salmón y bacalao negro (*Anoplopoma fimbria*). Este trabajo se inspiró en un estudio anterior sobre el cultivo integrado de ostra del Pacífico (*Crassostrea gigas*) con salmón Chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*) en la costa de la Columbia Británica (Jones & Iwama, 1991), donde la ostra mostró un aumento tres veces mayor en la altura de la concha y la tasa de crecimiento. Este aumento del peso y crecimiento de las especies co-cultivadas es un efecto colateral positivo y tiene beneficios económicos evidentes para los cultivadores.

### **3.1.7.3.- Estados Unidos**

En 2013, los Estados Unidos produjo 160.458 ton de moluscos, 226.430 ton de peces y 54.210 ton de crustáceos (FAO, 2015). El cultivo de mejillones y salmones es común, aunque en la parte sur de Estados Unidos es más adecuado el cultivo del camarón para un clima temperado. Al igual que la mayor parte de las operaciones de cultivo en Estados Unidos, casi todas las unidades de cultivo son del tipo monocultivos intensivos.

En Estados Unidos el interés en la IMTA ha sido impulsado principalmente por el interés en el tratamiento de aguas residuales liberadas del cultivo intensivo de camarones (Sandifer & Hopkins, 1996). Más recientemente, algunos investigadores han estado investigando el potencial del alga roja *Porphyra* (nori) para ser usada en sistemas de cultivo integrado peces-algas (Carmona, et al., 2006). Estos autores estudiaron seis especies de *Porphyra* (*P. amplissima*, *P. purpurea*, *P. umbilicalis*, *P. haitanensis*, *P. katada* y *P. yezoensis*) y concluyeron que *P. amplissima*, *P. purpurea* y *P. umbilicalis* fueron excelentes candidatas como bio-remediadoras en sistemas AMTI. Todas estas especies son nativas de las costas del NE de Estados Unidos y por lo tanto deberían ser consideradas excelentes candidatas para la integración con el salmón existente o cultivo de mejillones o instalaciones en tierra con lenguados o bacalao.

Se ha establecido también que el cultivo de *Porphyra* en el Golfo de Maine y la Bahía de Fundy (costa Atlántica de los Estados Unidos y Canadá) puede estar limitada por los bajos

niveles de nutrientes inorgánicos en el agua. Sin embargo, si se cultiva esta alga en un sistema integrado con peces, se podría superar este problema (Chopin, et al., 1999).

#### **3.1.7.4.- España y Portugal**

En 2013, la maricultura en España produjo 164.976 ton de moluscos, 58.661 ton de peces, 70 ton crustáceos y 1,8 ton plantas acuáticas. Por su parte, la maricultura en Portugal produjo 4.138 ton de peces y 3.746 ton de moluscos y 4,8 ton crustáceos (FAO, 2015).

La investigación sobre la Acuicultura Multi-Trófica Integrada a lo largo de la costa Atlántica de la Península Ibérica está centrada principalmente en el uso de algas (especialmente Rhodophyta), peces (principalmente el lenguado, *Scophthalmus maximus*, y la lubina, *Dicentrarchus labrax*) (Barrington, et al., 2009).

Gran parte de la investigación en macroalgas como biofiltradores en unidades AMTI se ha centrado en *Gracilaria bursa pastoris*, *Chondrus crispus*, *Palmaria palmata* (Matos, et al., 2006; Martínez, et al., 2006), *Porphyra dioica* (Pereira, et al., 2006), *Asparagopsis armata* (Mata, et al., 2006; Schuenhoff, et al., 2006), *Gracilaria longissima* (Hernández, et al., 2006), y *Ulva rotundata*, *Ulva intestinalis* y *Gracilaria gracilis* (Martínez-Aragon, et al., 2002; Hernández, et al., 2002). Todos estos autores muestran que muchas de estas especies de macroalgas son excelentes candidatos para biofiltrar y mitigar efluentes de aguas residuales: Todas tienen excelentes tasas de crecimiento, tasa de fotosíntesis y tasa de remoción de nutrientes inorgánicos, que las hacen buenas candidatas para ser incorporadas en unidades AMTI.

Usando este conocimiento, los investigadores en España han comenzado a realizar estudios experimentales integrando algas con el cultivo de lubinas y lenguados (turbot). (Matos, et al., 2006) encontraron que de las tres especies evaluadas (*Gracilaria bursa pastoris*, *Chondrus crispus* y *Palmaria palmata*), *Gracilaria bursa pastoris* tenía el mayor rendimiento y la más alta eficiencia de incorporación de N y, por lo tanto, se recomendó como la mejor candidata para la integración con el cultivo de lubina y turbot. *Ulva rotundata*, *Ulva intestinalis* y *Gracilaria gracilis* han sido co-cultivadas con lubina y se

encontró que eran eficientes bio-filtradoras de fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) (Martínez-Aragon, et al., 2002) y de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) (Hernández, et al., 2002) de las aguas residuales.

### **3.1.7.5.- Francia**

En 2013, la maricultura en Francia produjo 156.980 ton de moluscos, 44.845 ton de peces, 35 ton crustáceos y 350 ton de algas marinas. Gran parte de las unidades de acuicultura en Francia son monocultivos intensivos (FAO, 2015). La mayoría de los trabajos sobre sistemas AMTI están relacionados con el uso de estanques marinos para tratar efluentes de peces y todos están a un nivel experimental. Más específicamente, los investigadores (Pagand, et al., 2000; Metaxa, et al., 2006) están estudiando el uso de estanques con una alta densidad de algas para tratar efluentes de lubina (*Dicentrarchus labrax*) y otros investigadores (Lefebvre, et al., 2000) están estudiando el uso de ostras para tratar efluentes de lubina en iniciativas de investigación conocidas como el proyecto European Genesis.

Aunque todos estos estudios están basados en piletas o estanques, son relevantes para los sistemas de cultivo en ambientes marinos en aguas costeras de Francia, específicamente para el cultivo de la lubina. Por lo tanto, su importancia para el desarrollo de los sistemas AMTI, particularmente los beneficios de integrar macroalgas y ostras, debería ser debidamente tomada en cuenta en las aguas costeras.

### **3.1.7.6.- Reino Unido**

La acuicultura en el Reino Unido (especialmente en la costa oeste de Escocia) e Irlanda, consiste principalmente de unidades de monocultivo, con énfasis en salmones y mejillones. En 2013, el Reino Unido registró una producción de 167.490 ton de peces y 27.140 ton de moluscos. Por su parte, Irlanda registra 24.043 ton de moluscos y 10.113 ton de peces (FAO, 2015).

En experimentos sobre el crecimiento y producción de mejillones (*Mytilus edulis*) asociados con salmón (*Salmo salar*) en los fiordos escoceses, se encontró que los mejillones integrados con salmones tenían una tasa de crecimiento mayor y menos agotamiento de tejidos de reserva durante el invierno que aquellos cultivados sin salmón (Stirling & Okumus, 1995). Este estudio sugirió que los mejillones pueden ser integrados con el cultivo de salmones en aguas de Escocia para mejorar su viabilidad económica.

Más recientemente, investigadores de la Scottish Association for Marine Science (SAMS), en Oban, han estado trabajando con la compañía salmonera Loch Duart Limited y la West Minch Salmon, como también con el productor de mejillones Loch Beag, para iniciar proyectos de investigación pilotos sobre el potencial de la Acuicultura Multi-Trófica Integrada a lo largo de la costa oeste de Escocia (Barrington, et al., 2009). En la actualidad, hay varios proyectos en desarrollo; estos incluyen: integración de salmón del Atlántico, *Salmo salar*, con los erizos de mar, *Psammechinus miliaris* y *Paracentrotus lividus*, y las macroalgas, *Palmaria palmata*, *Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea*, *Saccharina latissima* and *Sacchoriza polyschides*. Se está experimentando la integración de salmón cultivado orgánicamente con la ostra, *Crassostrea gigas*, y la vieira *Pecten maximus*; y el co-cultivo del erizo de mar *Paracentrotus lividus* y el mejillón *Mytilus edulis* (Barrington, et al., 2009)

En Irlanda se practica la acuicultura mono-específica y la integrada. El alga *Asparagopsis armata* está siendo cultivada comercialmente con éxito y se la considera una excelente especie biofiltradora de efluentes de cultivo de peces y también tiene un alto valor económico cuando es cosechada para la industria de los antibióticos y cosmética (Santos, 2006). Por lo tanto, *Asparagopsis armata* es considerada una excelente especie para la integración con el cultivo de peces en el Reino Unido e Irlanda.

Además del cultivo comercial de *Asparagopsis armata*, hay otras tres especies de algas que están siendo cultivadas en Irlanda: *Palmaria palmata*, *Alaria esculenta* and *Chondrus crispus*. También existe monocultivos de bacalao (*Gadus morhua*), salmón (*Salmo salar*), ostra (*Crassostrea gigas*) y mejillones (*Mytilus edulis*), los cuales están cerca de la

capacidad de carga de sus cuerpos de agua, debido a la intensidad de sus operaciones. Además, algunas de estas especies (i.e mejillones y macroalgas) ya están siendo cultivadas, aunque independientemente, en las mismas bahías. En consecuencia, Irlanda parece estar preparada para implementar la Acuicultura Multi-Trófica Integrada y bastaría sólo un pequeño paso para integrar estos sistemas, una vez que se alcance el consenso entre ejecutivos de la industria y las agencias estatales. Los investigadores del Irish Seaweed Centre (ISC) de la Universidad Nacional de Irlanda, Galway, recientemente han estado participando en reuniones con los grupos de pescadores en County Kerry. Desde la prohibición de uso de redes de pesca de enmalle para salmones en 2007, los pescadores han buscado alternativas de ingreso y, en consultas con la ICS, planifican establecer una operación IMTA incorporando macroalgas con mejillones y el cultivo de ostiones (Barrington, et al., 2009).

### **3.1.7.7.- Noruega, Suecia y Finlandia**

Muy parecido a lo que ocurre en el Reino Unido, la acuicultura en Noruega, Suecia y Finlandia está basada en el monocultivo de salmónidos y mejillones. En 2013, Noruega produjo 1.245.502 ton de peces y 2.363 ton de moluscos (FAO, 2015). En 2013, Suecia produjo 1.702 ton de moluscos y 11.663 ton de peces y Finlandia 13.613 ton de peces (FAO, 2015).

Una revisión de la literatura existente muestra que no existen cosechas comerciales de algas cultivadas en estos países, ni tampoco hay sistemas comerciales de Cultivo Multi-Trófico Integrado (Barrington, et al., 2009). Noruega es lejos el líder en el cultivo de salmón en Europa, produciendo el 71% del salmón Atlántico en la región (FAO, 2010). La industria acuícola noruega produce grandes cantidades de salmón y trucha arcoíris, y a menor escala produce bacalao, platija, turbot y anguilas, y moluscos como la ostra y ostiones (Maroni, 2000). En 2004, Noruega produjo 632.985 ton de peces y 3.796 ton de moluscos.

La industria acuícola de Suecia y Finlandia, son substancialmente más pequeñas que la Noruega. La industria acuícola de Suecia produce trucha arcoíris, salmón, anguila, artic

char, mejillón azul y langosta (Ackefors, 2000). La industria de Finlandia produce principalmente trucha arcoíris y salmón (Varjopuro, et al., 2000). En 2004, Suecia produjo 1.435 ton de moluscos y 1.316 ton de peces y Finlandia 10.586 ton de peces.

Aunque Noruega tiene una larga historia en la cosecha de macroalgas (especialmente de laminaria para alginatos), no hay un cultivo comercial de macroalgas en este país. Existen muchas especies económicamente valiosas en las agua escandinavas (v.g. *Laminaria*, *Saccharina*, *Porphyra*, *Gracilaria*, *Palmaria*, *Chondrus*, etc.) y podría ser interesante integrar estas especies en el cultivo del salmón para ayudar a la acuicultura a ser más sustentable.

En Oldervika, Noruega, se implementó un sistema de cultivo (IMTA) asociado a la producción de salmónes para evaluar la eficiencia del desarrollo sustentable en la producción de salmón del Atlántico (*Salmo salar*) con un cultivo de algas pardas (*Alaria esculenta*); este estudio evaluó la rentabilidad económica del cultivo en un periodo de 11 años. Los beneficios de la producción con este sistema son de tipo medioambientales con la captura de emisiones de nitrógeno, fosforo y carbono en el centro de cultivo, y la producción, por otra parte, puede tener un precio diferenciado por eco-etiquetado (Sandberg et al., 2016).

Se ha considerado como posibles restricciones para el crecimiento continuo de la industria del salmón en Noruega a la disponibilidad de recursos para la fabricación de alimento concentrado, disponibilidad de sitios en las zonas costeras, control de patógenos e impactos ambientales. Sin embargo, Noruega ha proyectado producir 2,5 millones de ton de salmón de cultivo hacia 2030, y los investigadores y la industria están conscientes de que estas restricciones deben ser abordadas con el objetivo de que su industria mantenga un alto nivel de producción y calidad (Barrington, et al., 2009).

Para avanzar en la solución de estas limitaciones, los investigadores noruegos han estado estudiando las posibles transferencias de patógenos entre el mejillón azul y el salmón (Skar & Mortensen, 2007) y el desarrollo de experiencias piloto con Acuicultura Multi-Trófica Integrada. En este último, los estudios han estado orientados a definir cuáles son

las tecnologías más apropiadas para cada área geográfica, como también qué tecnologías son las más adecuadas para el cultivo y cosecha de las especies alternativas. En la actualidad, los investigadores han integrado el mejillón azul en el cultivo de salmones, y están planificando expandirse hacia macroalgas como la *Laminaria* y *Gracilaria* en estos sitios (Barrington, et al., 2009).

Los científicos han resaltado dos puntos principales que requieren ser mejorados para asegurar el éxito de la AMTI en esta región: la adaptación de las tecnologías de cultivo de las especies alternativas (v.g. mejillones y macroalgas), y la reducción de actividades que exijan mano de obra intensiva. El mejoramiento de estas dos áreas aseguraría la eficiencia económica del AMTI. Finalmente, en Noruega no hay experiencias de AMTI a escala comercial (Barrington, et al., 2009).

#### **3.1.7.8- Sudáfrica**

En 2013, Sudáfrica produjo 2.000 ton de macroalgas, 1.800 ton de peces y 2.205 ton de moluscos (FAO, 2015). La maricultura en este país está focalizada en la industria del abalón, particularmente el Midas (*Haliotis midae*) como también sobre la ostra del Pacífico (*Crassostrea gigas*) y del mejillón (*Mytilus galloprovincialis*) (Bolton, et al., 2006; Troell, et al., 2006). Esta industria ha crecido rápidamente en los últimos años, afectando la disponibilidad de macroalgas como fuente de alimento para los abalones, llegándose a cosechar sobre 6 mil ton anuales de laminaria, *Ecklonia máxima*, llevándolas al límite de su explotación sustentable. Como resultado, *E. máxima* ha estado sujeta a una industria de cultivo paralela como muchos sistemas desarrollados de unidades de cultivo integrado de abalón-laminaria (Troell, et al., 2006). Este cultivo integrado en tierra con bateas de baja profundidad (raceways), se considera como el método preferido de producción en la industria del abalón (Bolton, et al., 2006). Un creciente volumen de evidencias sugiere que una dieta mixta de laminaria y otras macroalgas pueden inducir tasas de crecimiento tan buenas como las observadas con alimento artificial, mejorando la calidad del abalón y reduciendo las cargas de parásitos.

De acuerdo a (Bolton, et al., 2006), además de *Ecklonia máxima*, también se ha cultivado *Ulva* en unidades de cultivo integrado con abalones. Se señala además, que *Gelidium* y *Gracilaria* son cosechadas de praderas naturales a lo largo de la costa de Sudáfrica (Troell, et al., 2006) y podrían ser usadas como candidatas a integrar en sistemas AMTI.

El beneficio general de la AMTI (reducción de nutrientes liberados al ambiente) también es válido para el cultivo integrado de algas-abalones. Además, como las macroalgas extraen amonio del agua de mar y adicionan oxígeno, el agua residual del cultivo de abalones al pasar por las piletas con macroalgas puede ser parcialmente recirculada a los estanques de abalones, reduciendo en forma significativa los costos de bombeo.

El desarrollo de la AMTI en Sudáfrica ha sido impulsado por otros incentivos, tal como las limitaciones futuras de las cosechas de laminaria naturales y de las ventajas comprobadas sobre la mejoría del crecimiento y calidad de los abalones con dietas de algas.

### **3.1.7.9 Australia**

En un sistema intensivo de cultivo de camarones instalado en tierra en un terreno de varias hectáreas, se adicionó un cultivo de algas para tratar las aguas de desecho. Para ello se selecciono una especie de alga verde con valor comercial. El desarrollo de esta iniciativa contempla la generación de productos con valor agregado bioproductos, bioenergía y alimento para consumo humano) (De Nys, 2016).

### **3.1.8.- El Desarrollo de la Acuicultura Multi-Trófica Integrada (AMTI) en Chile**

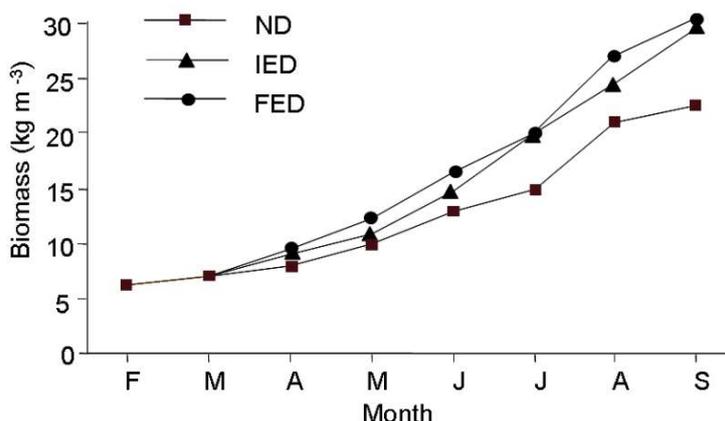
En Chile, las acciones de investigación y desarrollo de la Acuicultura Multi-Trófica Integrada (AMTI) comenzaron a fines de los años 1980. El primer intento consideró el desarrollo de sistemas marinos intensivos basados en tierra usando agua de mar bombeada al cultivo intensivo de truchas (*Oncorhynchus mykiss*) con una biomasa de cultivo de 35 kg m<sup>-3</sup> (Medina, et al., 1993). Estos experimentos demostraron que las truchas podían aumentar su peso mediante la manipulación del fotoperiodo y

manteniendo las mismas dosis de alimento. Durante su ciclo de producción la tasa de conversión de alimento (FCR) fue mejorada hasta 1,3, siendo significativamente diferente cuando se comparó con cultivos de peces instalados en el mar (Medina, et al., 1993). Sin embargo, considerando incluso el aumento de la eficiencia de conversión de alimento, los residuos de carbono, nitrógeno y fósforo en el sistema fueron de 75% aproximadamente de cada compuesto (Buschmann, et al., 1996b). Por esa razón, la remoción de materia orgánica en suspensión y de residuos inorgánicos disueltos fueron reciclados primero a través de un cultivo de ostras (*Crassostrea gigas*) y luego usando el alga productora de agar *Gracilaria chilensis*. En general, estos resultados mostraron que el cultivo de truchas en estanques fue técnicamente factible y económicamente viable si se alcanza una alta densidad de peces y si el tamaño del cultivo es lo suficientemente grande como para pagar dicha inversión (Buschmann, et al., 2001b). Además, las ostras mostraron un aumento en las tasas de crecimiento cuando se usó para su cultivo efluentes de los peces y, de igual modo, se ha mostrado que *G. chilensis* presenta una productividad significativamente más alta cuando se usó efluentes de peces para su cultivo (Buschmann, et al., 1994).

Estos estudios han mostrado que las ostras y algas son capaces de reducir significativamente el nitrógeno y fósforo (Buschmann, et al., 1994; Buschmann, et al., 1996b). Sin embargo, se debe tener en consideración que cuando se trata de asociar la **producción** con el **tratamiento de residuos**, la lógica para maximizar ambas variables es diferente (Buschmann, et al., 2001b). Reducir la limitación de nutrientes significa aumentar el flujo de agua que pasa a través de las unidades de cultivo, pero incrementar la eficiencia de remoción de residuos significa reducir el flujo de agua. Por otro lado, diferentes especies reaccionarán de manera diferente a las variables ambientales y cuando una especie esté creciendo bien otras puede que no.

La Figura 11 muestra que la eficiencia de extracción de amonio por parte de *Gracilaria chilensis* es mayor a diferentes tasas de flujo durante el verano, con altas radiaciones solares y temperatura, que lo observado a inicios de primavera cuando la menor cantidad

de luz y temperaturas limitan la tasa de crecimiento del alga. Otros estudios experimentales también han mostrado que *G. chilensis* puede ser un eficiente organismo extractor de nitrógeno (Chow, et al., 2001).



**Figura 11.** Biomasa de *G. chilensis* (kg m<sup>-3</sup>) en estanques de cultivo de *Oncorhynchus kisutch* de ocho mil litros con tres diferentes tratamientos de fotoperiodo: ND Fotoperiodo natural; IED: fotoperiodo intermedio extendido que considera 12 h de luz y FED: fotoperiodo completamente extendido (24 h de luz). IED y FED muestran una biomasa significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) que ND al final del experimento.

La mayor productividad de *G. chilensis* se puede mantener en un cultivo intensivo a largo plazo (2 años), manteniendo la producción y calidad del agar (Retamales, et al., 1994). A pesar de esto, con la capacidad de extracción de nutrientes es posible reducir el impacto económico que significa internalizar los costos de incorporación de residuos en el ecosistema, generando un modelo de producción económicamente viable considerando tanto la minimización de los impactos económicos como ambientales (Buschmann, et al., 2001b; Chopin, et al., 2001).

Considerando el fuerte desarrollo de la acuicultura en aguas más expuestas en Chile, se han realizado ensayos experimentales para explorar el potencial del uso de ostras nativas, mejillones y algas en sistemas abiertos. Los ensayos experimentales han demostrado exitosamente que la estrategia de Cultivos Multi-Tróficos Integrados es otra alternativa para desarrollar una acuicultura más sustentable en el país.

Algunos de los hallazgos más relevantes indican que:

a.- El cultivo de mejillones *Mytilus chilensis* asociado al cultivo de salmones muestra un crecimiento mejorado debido a la disponibilidad adicional de alimento; sin embargo, la posición apropiada de la línea de cultivo del mejillón es un aspecto relevante a ser considerado (Buschmann, et al., 2008a).

b.- *Mytilus chilensis* puede suministrar nitrógeno disponible para la mantención de altas tasas de crecimiento de *Gracilaria chilensis* bajo condiciones de terreno (Retamales & Buschmann, 1996).

c.- El alga marina *Gracilaria chilensis* presenta una alta capacidad de crecimiento y un alto potencial de consumo de nitrógeno cuando se cultiva en líneas asociadas con cultivos de salmones (Troell, et al., 1997; Halling, et al., 2005).

d.- El alga roja *Gracilaria chilensis* y la laminaria *Macrocystis pyrifera* presenta una mayor respuesta de crecimiento cuando se cultiva en sistemas suspendidos y asociada a cultivos de salmón, sugiriendo que el co-cultivo de ambas especies de algas podría mejorar la eficiencia de absorción de nutrientes (Buschmann, et al., 2008b).

e. *Gracilaria chilensis* puede ser cultivada en sistemas suspendidos a 1 m de profundidad y su capacidad fisiológica de absorción de nutrientes no es afectada por la densidad dependiente de las condiciones de cultivo. El sistema de Cultivo Multitrófico Integrado de *Gracilaria chilensis* presenta mejores respuestas de crecimiento que el cultivo tradicional en el fondo y un sistema de cultivo tipo long-lines de 100 hectáreas sería capaz de remover en forma efectiva (ca. 100%) los aportes de N inorgánico de 1.500 ton de salmón cultivado (Abreu, et al., 2009).

f.- Se caracterizó las condiciones de crecimiento y producción óptimas de *Macrocystis pyrifera* cultivada cerca de sitios de cultivo de salmones. Esta laminaria puede ser cultivada en sistemas de long-lines suspendidos a profundidades de 3 m. Comenzando el cultivo en invierno el crecimiento de las plantas alcanza un máximo en primavera y verano y disminuye a mediados de fines de verano. Se observa también esta fuerte estacionalidad cuando se estudia el metabolismo del nitrógeno (consumo), el cual afecta el rol

remediador de esta especie. Sin embargo, la productividad altamente estacional el cultivo también parece estar íntimamente ligada con el ritmo de producción del salmón (Varela et al. no publicado)

Sin embargo, no ha sido fácil adoptar la estrategia AMTI en Chile. Al igual que los países orientales, Chile tienen una larga tradición de consumo de moluscos y algas; sin embargo, el precio de estos bienes es muy bajo, por lo que no se puede proponer como un negocio interesante a los inversionistas. Por esta razón, se busca desarrollar iniciativas que incentiven el cultivo de las algas marinas (Buschmann, et al., 2008c).

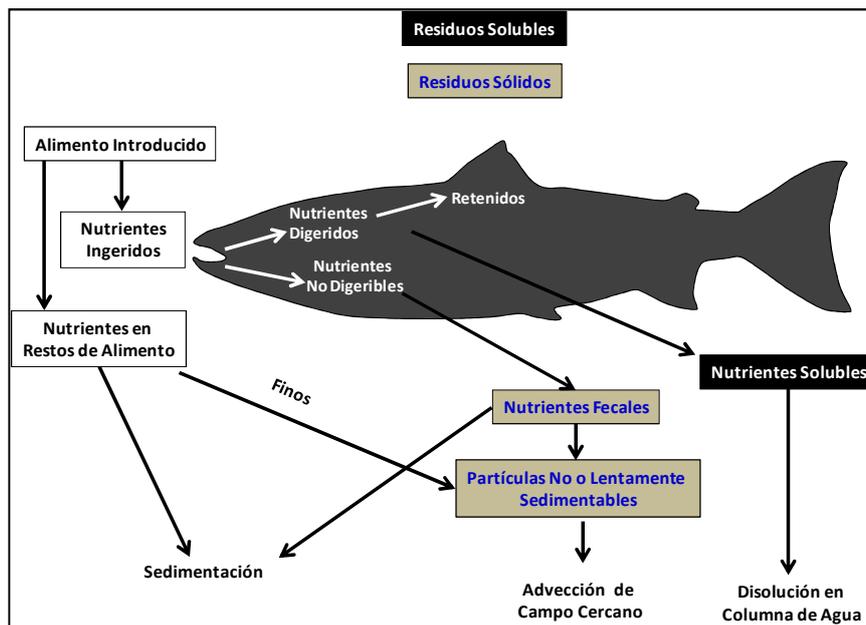
En la actualidad está emergiendo en Chile el desarrollo del cultivo del abalón, agregando una presión extra sobre los recursos naturales de algas como fuente de alimentación. En 2010, dos sitios de cultivo a escala piloto (20 hectáreas cada uno) fueron instalados en el sur de Chile para la producción del alga café *Macrocyctis pyrifera* como fuente de carbohidratos para la producción de bioetanol.

La investigación básica y aplicada deben ir juntas para crear las condiciones necesarias para establecer una actividad acuícola sustentable en Chile y otras partes del mundo. Además de desarrollar unidades demostrativas e investigación aplicada para mostrar claramente los beneficios del AMTI a los cultivadores y reguladores, es necesario continuar con estudios básicos sobre el consumo y asimilación de nutrientes, entre otros temas. Los requerimientos ambientales para el crecimiento de las algas marinas y moluscos pueden no ser los mismos como para maximizar su capacidad bio-filtradora. La eficiencia para reciclar los nutrientes se puede optimizar mediante la manipulación de las condiciones de cultivo (profundidad, position relativa con respecto a las jaulas de salmón en relación a las corrientes prevalecientes, distancia a las jaulas de cultivo y densidad de cultivo), permitiendo tanto una alta eficiencia bio-filtradora y un aumento de la capacidad de producción de biomasa para que la estrategia AMTI sea comercialmente atractiva.

### **3.1.9.- Monocultivo: El cultivo de peces**

Las estrategias usadas para el cultivo de peces en balsas-jaulas en ambientes marinos abiertos son similares a nivel mundial; pueden diferir los diseños y el grado de automatización, pero en la mayor parte de este tipo de balsas-jaulas el agua fluye a través de las mallas (Troell, et al., 2009). Esto significa que el agua es transportada a través de las jaulas por las corrientes, por lo que la pérdida del alimento entregado a los peces genera una liberación hacia el ambiente de aguas de calidad reducida, cargada tanto con nutrientes particulados como disueltos (Troell, et al., 2009).

Los efectos ambientales de las prácticas de alimentación en la salmonicultura, incluye la acumulación de restos de alimento y fecas (Hall, et al., 1990), que impactan negativamente los sedimentos bajos las balsas jaulas, caracterizado por un bajo potencial redox (Hargrave, et al., 1993), altos contenidos de materia orgánica (Hall, et al., 1990; Holmer, 1992) y acumulación de compuestos nitrogenados y fosforados (Karakassis, et al., 1998). Se señala que los cambios ocurridos en el bentos son mayores inmediatamente bajo las jaulas debido a las altas densidades de biomasa y altas tasas de entrega de alimento en un área localizada (Hargrave, et al., 1993). Aunque se ha reportados impactos significativos hasta distancias de 100-150 m de las jaulas (Weston, 1990), en general, este impacto está localizado dentro de los 20-50 m alrededor de las jaulas (Beveridge, 1996) (Figura 12).



**Figura 12.** Destino de los nutrientes generados en el cultivo de salmones en jaulas. Los “finos” son restos pequeñas partículas que se desprenden de los pelets de alimento. El residuo sólido es considerado como materia orgánica, y los residuos solubles excretados directamente del pez son considerados inorgánicos.

El cultivo en jaulas también libera una considerable cantidad de nutrientes a la columna de agua. Se han desarrollado modelos de balance de masas para el nitrógeno (N) (Gowen & Bradbury, 1987; Hall, et al., 1992) y fósforo (P) (Holby & Hall, 1991) en salmones de cultivo, los que indican que el 50% del nitrógeno (N) y el 28% del fósforo (P) entregado con el alimento se pierden en forma disuelta. La variabilidad estacional en la entrega de alimento determina la variabilidad estacional en las pérdidas de carbono (C), N y P hacia el bentos marino y la columna de agua (Mente, et al., 2006).

La máxima liberación de nutrientes se puede estimar a partir de las condiciones hidrográficas existentes en las inmediaciones del sitio de cultivo, tales como el volumen de agua, intercambio marea y corrientes (Mente, et al., 2006).

En **ecosistemas marinos no perturbados**, los nutrientes son abundantes durante el invierno e inicios de primavera y gradualmente se agotan en las aguas superficiales en la estación cálida, mientras que en los **ecosistemas marinos impactados por la acuicultura**

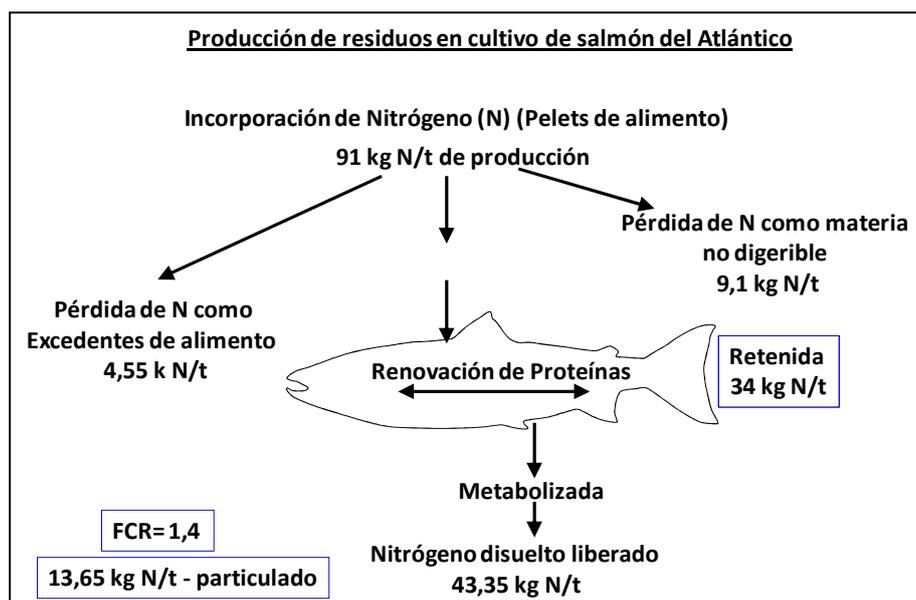
la mayor parte del enriquecimiento de nutrientes en la columna de agua ocurre durante el periodo cálido (v.g. verano e inicios de otoño) (Mente, et al., 2006).

Los residuos provenientes del cultivo de peces contribuyen con N y P disueltos pero no con sílice, creando de este modo las condiciones que favorecen el crecimiento de ciertos grupos de fitoplancton, tales como flagelados o cianobacterias (Parsons TR, 1978), en vez de diatomeas limitadas por sílice que forman parte de las tramas tróficas clásicas, canalizando la energía hacia niveles tróficos superiores (incluyendo los peces). En las zonas donde se sitúan varios centros de cultivo de peces muy cercanos uno de otros, el aumento de los niveles de nutrientes puede dar lugar a afloramientos de algas y el agotamiento del oxígeno (Black, 2001).

El desarrollo y uso de modelos para estimar y regular los impactos ambientales, juegan un rol clave en el estudio de la sustentabilidad de la acuicultura y de sus ambientes receptores. Se puede usar una metodología basada en el balance de masa en combinación con datos reales de terreno y laboratorio. Se puede estimar el alimento no consumido, pérdidas fecales, tasas de conversión de alimento y digestibilidad, para derivar expresiones de varios residuos, tales como para el N o P. El resultado es un balance que muestra el flujo de nutrientes desde el alimento entregado, la asimilación del alimento en el pez como resultado del crecimiento (metabolismo) y las pérdidas de nutrientes en los sedimentos y la columna de agua. Los residuos del pellet pueden depender de varios factores. Si los pellets son entregados a tasas que exceden la habilidad de los peces para capturarlo o bajo condiciones tales que los pellets no son detectados a medida que se hunden, habrá pérdidas de pellets completos (Mente, et al., 2006).

Un ejemplo de sistema cerrado es el cultivo del salmón del Atlántico (Figura 13). El contenido de nitrógeno de un salmón cultivado es 3% (en base a peso húmedo) (Ackefors & Enell, 1990). A partir de esto, se puede calcular la cantidad de N retenido en el pez a medida que crece. En las prácticas actuales de cultivo de salmón se estima una pérdida de residuos de pellets no consumidos de un 5% (Davies, 2003). La proporción del aporte de partículas de alimento (pellets) que se pierde como residuos particulados (por ejemplo,

pellets en exceso más material no digerido) es de 15% (Davies, 2003). La descarga de materia fecal se puede calcular de la cantidad de alimento ofrecido menos los residuos de pellets no consumidos. El N disuelto se calcula como la diferencia entre la cantidad de N que entra por medio del alimento y la suma de las cantidades de N en los residuos particulados y crecimiento del pez (Figura 13). Basados en la asimilación de todos estos factores, la liberación total de N disuelto predicha es el 43,35% de la cantidad que entra.



**Figura 13.** Modelo simple de balance de masa (Davies, 2000) para estimar la tasa de producción de residuos de nitrógeno disuelto y particulado por el salmón de cultivo en un Loch Escocés (AQCESS Project 2000). Extraído de (Mente, et al., 2006)

En un cultivo de salmones, la descarga de partículas sólidas puede alcanzar a 2,1 g (peso seco) pez<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> durante primavera-verano y con una tasa de conversión de 1,4 g de alimento pez<sup>-1</sup> (Buschmann, et al., 1996b). El nutriente que aumenta más en los efluentes de los peces es el amonio, alcanzando concentraciones de hasta 500 µg L<sup>-1</sup>, también en primavera-verano.

### **3.1.10.- Monocultivos: Organismos Filtradores: Moluscos Bivalvos**

En general, se propone que los moluscos bivalvos como los mitilidos (mejillones o choritos), filtran las partículas de alimento y fecas en suspensión provenientes de los sistemas de cultivo de salmones. El resultado de varios estudios sugiere que la producción combinada de mejillones y salmón puede ser considerada como una estrategia para mitigar los efectos ambientales de los residuos de materia particulada generados en el cultivo del salmón.

#### **a.- El Cultivo del Mejillón (Mitilidos) en Chile**

En 2010, la producción acuícola mundial alcanzó aproximadamente los 78,9 millones de ton. De esta cifra, 14,2 millones de ton (18%) corresponden a moluscos bivalvos, del cual los mejillones aportaron con 1,8 millones de ton (12,7%). Chile, en 2010, produjo el 12,2% (221.522 ton) de los mitilidos cultivados a nivel mundial (FAO, 2013).

El desarrollo de la mitilicultura se inició en Chile a partir de 1961, con la realización de estudios que buscaban determinar las condiciones de captación de larvas del ambiente natural y abastecer de semillas a centros de cultivo destinados a la engorda (Uriarte, 2008).

El chorito o mejillón (*Mytilus edulis*), se distribuye desde Callao (Perú) al Estrecho de Magallanes, y canal Beagle (Chile), extendiendo su área de dispersión hasta el sur de Brasil, incluyendo también las islas Malvinas. Su distribución batimétrica va desde el sector rocoso del intermareal hasta los 10 m de profundidad (Osorio, 1979).

Desde 2006, el 100% de la producción de chorito o mejillón chileno proviene de cultivo, mientras que hace 20 años casi la totalidad de producción provenía de bancos naturales (Uriarte, 2008). Este recurso es procesado principalmente en cuatro líneas de elaboración, de las cuales destaca el congelado y la conserva, con muy bajas cantidades destinadas a cocido o fresco-refrigerado, debido a que la mayor parte de la producción es exportada.

Este cultivo se desarrolla a partir de la captación ambiental de semillas durante los meses de verano-otoño. El momento apropiado de la puesta de los colectores, se establece una vez detectada una cantidad superior a 50 larvas L<sup>-1</sup>. Los colectores son cuelgas, principalmente de malla anchovetera en desuso, suspendidas desde estructuras flotantes, como long-lines. En los colectores suspendidos, se fijan las larvas competentes o próximas a la metamorfosis, y se mantienen hasta que alcanzan el tamaño de semilla de 1 a 3 cm de longitud. Posteriormente, para permitir su crecimiento, se ralean desprendiéndolas de la cuelga y colocándolas en mangas de algodón, en cuyo interior existe un sustrato de fijación. Esta técnica puede variar acorde a si la empresa es del tipo artesanal o industrial. Luego de 10 días en el mar, la manga se disuelve y las semillas quedan adheridas al colector. Las semillas se convierten en juveniles hasta alcanzar la talla comercial, lo que puede variar entre los 10 a los 18 meses, a partir de una semilla de 1–2 cm de longitud, según la época del año (Uriarte, 2008).

La Región de Los Lagos es la más importante en número de centros de cultivo y producción de mejillón, concentrándose principalmente en Chiloé y Calbuco. Esta industria ha crecido exponencialmente durante los últimos años, aumentando en más de 20 veces sus producciones, lo que la convierte en la industria con mayor potencial después de los salmones. La tendencia es a integrar el proceso completo, aunque en la mayoría de los casos coexisten separadamente captadores de semilla, cultivadores, plantas de proceso y comercializadores y exportadores.

Uno de los problemas más importante que afecta la comercialización de mitilidos es la presencia de Florecimientos Algales Nocivos (FANs) en las zonas de cultivo, lo que por sus hábitos alimentarios, los lleva a acumular las sustancias tóxicas generadas por algunas microalgas (Suárez & Guzmán, 1999).

**b.- Chorito o Mejillón Chileno: *Mytilus chilensis*, *M. galloprovincialis*, *M. edulis***

Tarifeño et al. (2013) (Tarifeño, et al., 2012) informan que la presencia de *Mytilus chilensis* para la Bahía de Concepción no es correcta, siendo *Mytilus galloprovincialis* la identificación taxonómica válida. En ejemplares adultos de *M. galloprovincialis* de la bahía de Concepción y de *M. chilensis* de la bahía de Yaldad, Chile, se realizaron cruzamientos puros de cada especie e híbridos, para evaluar el desarrollo larval temprano y su crecimiento. El estudio mostró que la fertilización ocurrió en todos los cruzamientos y no se detectó diferencias significativas entre líneas puras e híbridas en el porcentaje de huevos que se desarrollaron a larvas (Toro, et al., 2012). Estudios que evaluaron el efecto de la temperatura sobre el desarrollo embrionario y larval del mejillón chileno (Ruiz, et al., 2008) muestran que *M. galloprovincialis* presentó mejores de tasas de crecimiento que *M. chilensis* a iguales temperaturas, sugiriendo que en Chile se puede producir semillas de *M. galloprovincialis* en condiciones controladas, para su cultivo masivo.

El género *Mytilus* está ampliamente distribuido en áreas de aguas frías de los hemisferios norte y sur y generalmente se le encuentra dominando las comunidades del litoral y costa del sub-litoral. Recientes evidencias morfológicas y genéticas sugieren que *Mytilus edulis chilensis* de las Islas Malvinas es sinónima con *Mytilus edulis* del hemisferio norte. *Mytilus edulis* es la especie más ampliamente distribuida dentro del género y tiene la habilidad de soportar amplios rangos de condiciones ambientales fluctuantes (Gray, et al., 1997). (Toro, et al., 2012) discuten sobre el grado de hibridación natural que sería mayor en la zona híbrida de *M. edulis-M. galloprovincialis* en Europa que la zona híbrida de *M. edulis-M. trossulus* en la costa este de América del Norte, lo que implica que *M. edulis-M. galloprovincialis* están más estrechamente relacionados que *M. edulis* y *M. trossulus*, lo que ha sido corroborado con cruzamientos exitosos entre ambas, sugiriendo que *M. galloprovincialis* es una subespecie de *M. edulis*, proponiéndose la forma trinomial de *M. edulis galloprovincialis*. Por otro lado, *M. chilensis* está más estrechamente relacionada a *M. edulis* que a *M. trossulus*. Finalmente, en un estudio de cruzamiento en laboratorio (Toro, et al., 2012), se sugiere que hay poca o ninguna evidencia de la existencia de

barreras fisiológicas para la fertilización de líneas puras o híbridas de *M. chilensis* y *M. galloprovincialis*.

Estos antecedentes nos permiten proponer que los resultados de estudios sobre crecimiento y producción, alimentación y digestión, fisiología y ecología de las especies y cultivos de *M. edulis* y *M. galloprovincialis*, realizados en otras latitudes, sean usados como referencia y complementación en los análisis propuestos en el presente estudio.

### **c.- Impactos del cultivo de moluscos filtradores**

El cultivo de mitílidos tiene efectos sobre el ambiente, debido a la liberación de fecas y pseudofecas al medio, las que se acumulan en el fondo marino. Este sedimento enriquecido con material orgánico produce un incremento de la actividad microbial y un consecuente aumento en el consumo del oxígeno y reducción de sulfato.

### **d.- Fisiología: selección de partículas, parámetros alimentarios y utilización de nutrientes**

El fitoplancton es un componente natural del seston que es seleccionado por *M. edulis* antes de la ingestión y una selección posterior realizada entre diferentes especies de fitoplancton y otras partículas orgánicas e inorgánicas (Kiorboe & Mohlenberg, 1981; Newell & Jordan, 1983; Defossez & Hawkins, 1997; Rouillon & Navarro, 2003).

Se han reportado Tasas de Ingestión (IR) máximas de 12,7 mg peso materia seca (DW) por hora para mejillones de 1 g DW (Bayne, et al., 1989) y una Eficiencia de Retención (RE) de 100% para partículas de tamaño entre 4-90  $\mu\text{m}$  (Riisgard, 1998), mientras que en otros estudios se ha medido una Tasa de Retención de 90% para partículas mayores a 3  $\mu\text{m}$  (Møhlenberg & Riisgård, 1979; Vahl, 1972) y una Tasa de Retención de 82% para partículas de 2  $\mu\text{m}$  y 57% para partículas menores 1,6  $\mu\text{m}$  (Lucas, et al., 1987).

Las concentraciones de SESTON y su Contenido Orgánico (OC), definido como la fracción de Material Orgánico Particulado (POM) del total de Material Particulado Suspendido

(SPM), es una variable trófica que afecta el excedente de energía para el crecimiento (Widdows, et al., 1979; Bayne, et al., 1987; Navarro, et al., 2003; Hawkins, et al., 1997).

Altas concentraciones de Material Inorgánico Particulado (PIM) pueden diluir el Contenido Orgánico (OC), incidiendo en una reducción de la calidad del alimento, Tasa de Filtración, Eficiencia de Absorción (AE) y Crecimiento (Widdows, et al., 1979; Bayne, et al., 1987; Navarro, et al., 2003; Iglesias, et al., 1996).

El Contenido Orgánico, en especial el contenido de Carbono, es un parámetro de alimentación que determina en gran medida el nivel de excedentes de energía disponible para crecimiento (Bayne, et al., 1987; Hawkins, et al., 1997) y puesto que los mejillones han mostrado la misma Eficiencia de Asimilación (AE) para el Fósforo Orgánico Particulado (POP), Nitrógeno Orgánico Particulado (PON) y Carbono Orgánico Particulado (POC), sus Tasas de Crecimiento dependerán de la composición de nutrientes del POM absorbido y de cómo estos satisfacen los requerimientos de los mejillones (Hawkins, et al., 1997).

Los mejillones pueden alternar entre dos diferentes estrategias para sacar una ventaja máxima del POM disponible (Bayne, et al., 1993; Arifin & Bendell-Young, 1997). Cuando la Materia Particulada Suspendida (SPM) es alta, las partículas con un alto contenido orgánico son elegidas antes que aquellas con menos contenido orgánico e inorgánico, resultando en un aumento de la porción orgánica en el alimento. Las partículas inorgánicas son empaquetadas en el mucus y desechadas como seudofecas en cantidades crecientes, con una concentración reducida de POM (Iglesias, et al., 1996). Sin embargo, cuando la concentración de partículas es baja no hay selección, incluso con un pobre Contenido Orgánico (OC), quedando la alimentación de los mejillones en base a materia orgánica e inorgánica. Se asume que la Materia Inorgánica Particulada (PIM) pasa el sistema digestivo sin ser absorbida, mientras que la Materia Orgánica Particulada (POM) sólo pasa si el contenido orgánico es muy alto (Prins, et al., 1991).

### **e.- Crecimiento de los Moluscos Bivalvos**

En los mitílidos el crecimiento de la concha y el crecimiento de las partes blandas no son procesos acoplados (Kautsky, 1982; Rodhouse, et al., 1984; Hilbish, 1986; Malet, et al., 2007). Se observa que el crecimiento en longitud es alto en primavera y verano y bajo o insignificante en invierno, mientras que los cambios de peso en los tejidos blandos parecen estar asociados con el ciclo reproductivo (Bayne & Worrall, 1980; Rodhouse, et al., 1984; Page & Hubbard, 1987; Garen, et al., 2004). Los juveniles gastan la mayor parte de su energía en el crecimiento somático y de las valvas, mientras que los más adultos gastan progresivamente más de energía en la reproducción y desarrollo de gónadas (>90% de su energía disponible) (Thompson, 1984). El crecimiento máximo ocurre cuando la temperatura del mar se ubica entre 10-20°C (Widdows, et al., 1979). Los cambios de temperatura han sido asociados con el desarrollo gonadal (Gray, et al., 1997) y el desove en especies de *Mytilus* (Kautsky, 1982). Luego del desove ocurre un periodo refractario, durante el cual la mayor parte de la energía es metabolizada para la producción de gametos (Lowe, et al., 1982; Rodhouse, et al., 1984). El desove se ha relacionado con un aumento de la temperatura (Starr, et al., 1990), mientras que otros estudios no han mostrado ninguna relación, sugiriendo en cambio que el ciclo reproductivo está relacionado con la estacionalidad en el suministro de alimento (Newell, et al., 1982; Lowe, et al., 1982).

### **f.- Los moluscos filtradores como estrategia de mitigación**

Hay varios estudios que indican que los bivalvos filtradores pueden actuar como bio-remediadores cuando son cultivados en las cercanías de jaulas de peces alimentados con pelets (Folke & Kautsky, 1989; Folke & Kautsky, 1989; Troell & Norberg, 1998; Soto & Mena, 1999; Mazzola & Sara, 2001; Whitmarsh, et al., 2006; Peharda, et al., 2007; Gao, et al., 2008; Redmond, et al., 2010), proponiendo con esto que la actividad de los filtradores ayudaría a reducir el impacto ambiental negativo asociado con la gran liberación de

materia orgánica particulada proveniente de las jaulas de cultivos marinos (Cheshuk, et al., 2003).

Aunque hay muchos resultados que indican la existencia de un mayor crecimiento de mejillones cultivados cerca de jaulas de cultivo de peces (Wallace, 1980; Stirling & Okumus, 1995; Lander, et al., 2004; Peharda, et al., 2007; Sara, et al., 2009), otros no han podido demostrar dicho efecto (Taylor, et al., 1992; Cheshuk, et al., 2003; Navarrete-Mier, et al., 2010), sugiriendo como explicación que la distancia desde las jaulas no influyen sustancialmente en la disponibilidad de alimento y el crecimiento. Las posibles explicaciones por los diferentes crecimientos en mejillones co-cultivados con peces en jaulas, son:

- a) Los residuos particulados generados en el cultivo de peces no incrementan significativamente las concentraciones de seston por sobre los niveles ambientales,
- b) La concentración de seston en el ambiente permanece consistentemente sobre el nivel umbral de las seudofecas, limitando de esta manera el potencial de los mejillones para aumentar su crecimiento mediante el consumo de residuos del cultivo de peces (Cheshuk, et al., 2003).
- c) La respuesta de filtración de los mejillones es demasiado lenta como para adaptarse al régimen de alimentación a pulsos, sumado a que,
- d) los efluentes no uniformes provenientes de las jaulas de cultivo, dejan a los mejillones ingerir residuos particulados de las jaulas sólo cuando son escasas las concentraciones naturales de seston, y,
- e) que las diferencias espaciales y temporales en las condiciones hidrodinámicas entre sitios de cultivo, como también los diseños experimentales, difieren de tal modo que hacen difícil obtener conclusiones inequívocas para el concepto de Acuicultura Multi-Trófica Integrada (Troell & Norberg, 1998; Troell, et al., 2009). Estos conflictos inciden en la incertidumbre de si el cultivo combinado de peces y mejillones puede o no ayudar a reducir la carga orgánica generada por los cultivos de peces.

### **3.1.11.- Macroalgas: biofiltros naturales eficientes con valor económico**

La presencia de macroalgas en sistemas de acuicultura integrada es uno de los factores que hace que la acuicultura sea sustentable, diversificada, económicamente factible y socialmente aceptada (J. García en (Guerrero & Cremades, 2012)). El crecimiento y la interacción de estas especies con los cultivos de peces, moluscos y el medio ambiente son positivos. Entre los años 2008 y 2011 diversos grupos de investigadores han desarrollado una serie de iniciativas en esta línea en España, Canadá, Israel y Chile, lo que ha permitido entregar resultados de estas experiencias en conferencias, publicaciones y congresos.

Entre las conclusiones, se destaca que las macroalgas con valor comercial son eficientes para bioremediar ambientes eutrofizados producidos por un monocultivo como el cultivo de peces. Las dos principales líneas de bioremediación para reducir el gran impacto al medio ambiente del cultivo de peces o moluscos son: a) la actividad reductora de las bacterias en la formación de gases ( $N_2$  y  $CO_2$ ); b) remoción por organismos biofiltradores y producción de biomasa. El primero, se puede utilizar en sistemas de cultivo con recirculación, pero son complejos desde el punto de vista tecnológico ya que requieren oxigenación, eliminación de material particulado, eliminación de amonio, control de pH, desinfección y disipación del exceso de  $CO_2$ . El segundo requiere del cultivo de macroalgas las que en presencia de energía solar y exceso de nutrientes actúan fotosintetizando y produciendo nueva biomasa que mejora la calidad de las aguas.

Las algas son organismos con una alta capacidad de biofiltración que reducen el impacto generado por otros cultivos tróficos de orden superior en el ecosistema, contribuyendo a la estabilidad de los mismos. Las macroalgas, además, son altamente eficientes como biofiltros, ya que tienen alta productividad y pueden ser cultivadas con métodos y costos asequibles y rentables para la industria.

#### **a.- Impacto ambiental que generan los monocultivos de algas**

Las algas utilizan carbono inorgánico, nitrógeno, agua, luz y varios iones minerales para la fotosíntesis y crecimiento. Los requerimientos nutricionales de las algas se dividen en 3

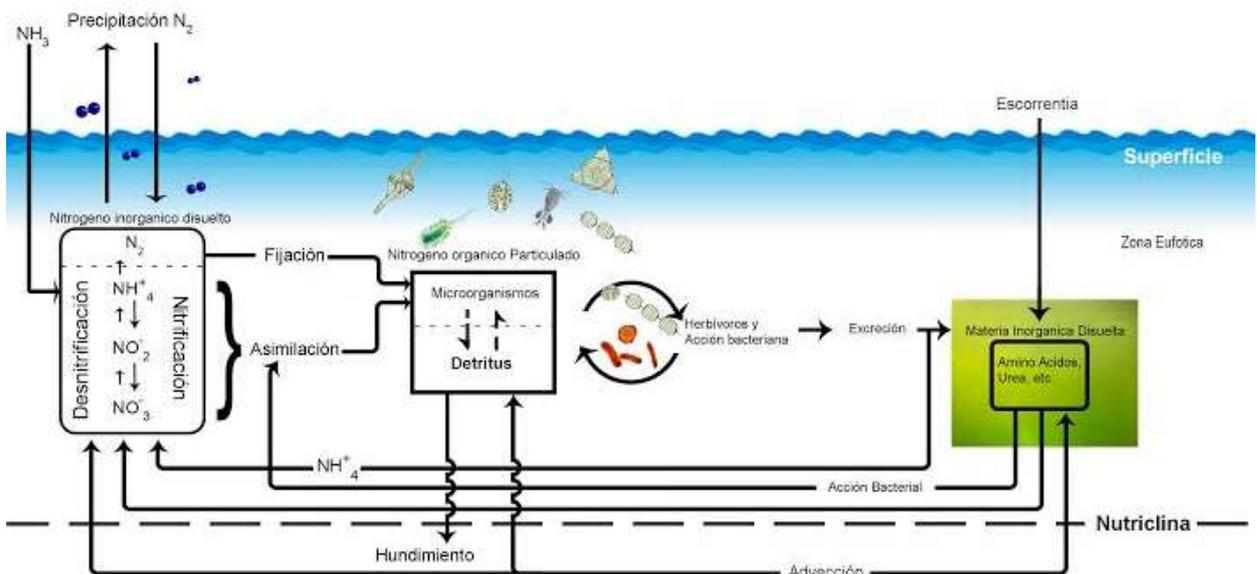
categorías: Macronutrientes (N, P, C entre otros), micronutrientes o elementos en traza (Fe, Zn, Cu, Mn, Mo y otros) y vitaminas (B<sub>12</sub>, tiamina y biotina) (Harrison & Hurd, 2001). Las funciones de estos elementos en macroalgas son poco conocidas y en la Tabla 1 se incluyen algunas de las probables funciones que cumplen (Lobban & Harrison, 1994).

**Tabla 1: Funciones y compuestos de elementos esenciales en algas (modificado de (Lobban & Harrison, 1994))**

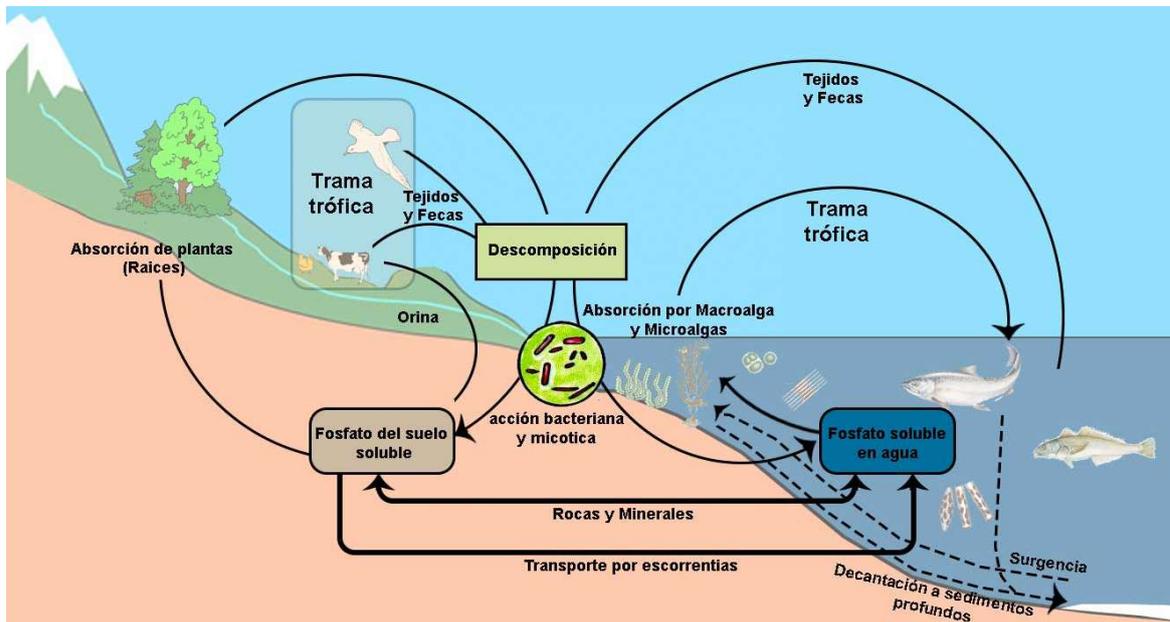
Elementos	Funciones probables	Ejemplos de compuestos
<b>Nitrógeno</b>	Importancia metabólica mayor en compuestos	Amino ácidos, purinas, pirimidinas, aminos, amino azúcares
<b>Fosforo</b>	Estructural, transferencia de energía	ATP, ácidos nucleicos, fosfolípidos, coenzimas, fosfoenolpiruvato.
<b>Potasio</b>	Regulación osmótica, control de pH, conformación de proteínas y estabilidad	Probablemente ocurre predominantemente en forma de iones.
<b>Calcio</b>	Estructura activación de enzimas, co-factor en el transporte de iones	Alginato de calcio, carbonato de calcio
<b>Magnesio</b>	Pigmentos fotosintéticos, activación de enzimas, co-factor en transporte de iones, estabilidad de ribosomas	Clorofila
<b>Azufre</b>	Activa grupos de enzimas y coenzimas estructural	Metionina, cistina, glutanionina, agar, carragenina, sulfolípidos, coenzima A
<b>Fierro</b>	Activa grupos en moléculas de porfirina y enzimas	Ferredoxina, citocromos, nitrato reductasa, nitrito reductasa, catalasa
<b>Manganeso</b>	Transporte de electrones en fotosistema II, mantención de la estructura de la membrana del cloroplasto	
<b>Cobre</b>	Transporte de electrones en la fotosíntesis	Plastocianina amino oxidasa
<b>Zinc</b>	Enzimas, estructuras de ribosomas	Anhidrasa carbónica
<b>Molibdeno</b>	Reducción de nitrato, absorción de iones	Nitrato reductasa
<b>Sodio</b>	Activación de enzimas, balance de agua	Nitrato reductasa
<b>Cloro</b>	Fotosistema II, metabolitos secundarios	Violaceno
<b>Boro</b>	Regula la utilización de carbono, estructura de ribosomas	
<b>Cobalto</b>	Componente de la vitamina B <sub>12</sub>	B <sub>12</sub>
<b>Bromo</b>		
<b>Ioduro</b>	Toxicidad de compuestos antibióticos	Amplio rango de compuestos halogenados especialmente en Rhodophyta

El nitrógeno es el elemento más frecuente que limita el crecimiento en algas (Topinka & Robbins, 1976; De-Boer & Ryther, 1977), seguido del fósforo (Manley & North, 1984; Lapointe, 1986; Lapointe, 1987; Lapointe, et al., 1992). El ciclo del nitrógeno es complejo e involucra a diferentes organismos en la trama trófica, donde las algas actúan como organismos productores primarios fijando y asimilando compuestos como amonio y nitratos (Figura 14). La regeneración del nitrógeno en la columna de agua se hace principalmente por dos procesos, uno que involucra la participación de bacterias y el otro, donde producto de la excreción de zooplancton, se libera amonio al medio.

El nivel de nutrientes en el medio ambiente entrega información acerca de si este es o no limitante, pero la tasa de retorno es importante para determinar la magnitud o el grado de limitación. La relación entre determinados nutrientes tiene importancia en procesos como crecimiento, por ejemplo, la relación N:P cuyo promedio para las algas es de 30N:1P; sin embargo, este promedio tiene un rango que fluctúa entre 10:1 a 80:1 dependiendo de la especie (Harrison & Hurd, 2001). Los requerimientos son diferentes para cada especie de alga, pudiendo estar limitada por un nutriente (nitrógeno) o por otro (fósforo) (Figura 15).



**Figura 14.** Ciclo del Nitrógeno



**Figura 15.** Ciclo del Fosforo

Las vitaminas más importantes para macroalgas son vitamina B<sub>12</sub> o cianocobaliamina, tiamina y biotina. De estas, la más requerida es la vitamina B<sub>12</sub> y esto puede deberse a que se encuentra en forma natural en el agua de mar en menores concentraciones (1 ng L<sup>-1</sup>) que las vitaminas tiamina (10 ng L<sup>-1</sup>) y biotina (2 ng L<sup>-1</sup>).

#### **b.- Disponibilidad de nutrientes en el agua de mar**

Las concentraciones de micro y macronutrientes en el mar, pueden diferir en más de 6 órdenes de magnitud. Aquellos en el rango nanomolar (nM) se consideran como micronutrientes o elementos en traza (Fe, Cu, Mn, Zn) para propósitos nutricionales, mientras elementos que ocurren a concentraciones mayores se refieren como macronutrientes (e.g. C, N y P).

En el caso del fósforo, el total disuelto en el agua de mar corresponde a un grupo heterogéneo de fósforo inorgánico. A pH 8,2 el fósforo se presenta de 3 formas: HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (97%) iones libres, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> ortofosfato menos del 1% y H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> un 2,5%. El ortofosfato se puede combinar formando moléculas más complejas llamadas complejos metalofosfatos

con Mg y Ca o se puede combinar con compuestos orgánicos, entonces el ortofosfato representa 1/3 del fosfato inorgánico en el agua de mar.

Determinaciones de nutrientes inorgánicos ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) efectuadas en el Mar Interior de Chiloé (41,5 a 43 ° S) (Iriarte, et al., 2007) muestran que se observan bajas concentraciones de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) en el agua entre primavera y verano. Las concentraciones en la columna de agua de nitrato y ortofosfato son mayores durante el invierno (mayo-julio), con valores que oscilan entre 4,25  $\mu\text{M}$  y 1,2 a 2,0  $\mu\text{M}$ , respectivamente. Ambos nutrientes disminuyen bruscamente a concentraciones inferiores a 0,7  $\mu\text{M}$  durante finales de la primavera y el verano (octubre-febrero). El amonio muestra concentraciones que fluctúan entre 0,2 a 2,0  $\mu\text{M}$ . Correlaciones de par cruzado entre las variables revelaron una relación significativa entre la temperatura y  $\text{NO}_3^-$  ( $r = -0,94, p > 0,05$ ) y  $\text{PO}_4^{3-}$  ( $r = -0,88, p < 0,05$ ), así como la salinidad y  $\text{NO}_3^-$  ( $r = 0,72, p < 0,05$ ) y  $\text{PO}_4^{3-}$  ( $r = 0,81, p < 0,05$ ), lo que indica que, aguas superficiales frías enriquecidos con  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$  caracterizan las aguas costeras durante los meses de invierno, mientras que las aguas de verano son cálidas y deficientes en nutrientes inorgánicos.

(Aiken, et al., 2011), describe una tendencia general que estaría caracterizada por concentraciones relativamente altas de nitrato (hasta 18  $\mu\text{M}$ ) y fosfato (hasta 2,5  $\mu\text{M}$ ) en el Golfo de Ancud y Corcovado (42 ° - 44 ° S), disminuyendo hacia el sur en la zona de los canales.

### **c.- Fisiología del nitrógeno**

Para comprender la fisiología de los nutrientes en algas, es necesario entender algunos conceptos básicos como tasa de incorporación de nutrientes, asimilación de nutrientes, almacenamiento de nutrientes, concentraciones críticas de nutrientes y tasa de crecimiento. La aplicación práctica de estos conceptos incluye carga en relación a tasas de crecimiento, pulsos de nutrientes para controlar epifitos y manipulación de nutrientes para aumentar formación de productos (e.g. menor concentración de fosfato y nitrógeno) aumenta producción de carragenanos).

La mayoría de los elementos esenciales para el crecimiento están en concentraciones inferiores a la concentración en los tejidos de algas. Por ejemplo el N y P está concentrado 100.000 veces en las algas mientras que el C está concentrado en 10.000 veces la concentración del agua de mar.

La definición nutriente limitante data de hace 100 años de la Ley del Mínimo de Liebig. Establece que el nutriente que está en concentraciones más bajas con respecto a otros requerimientos de nutrientes de las plantas, limitará el crecimiento, asumiendo que todos los factores son óptimos. Es importante recordar que la concentración de nutrientes está determinada por el balance entre la tasa de suministro (supply) del nutriente (mezcla de columna de agua, regeneración de nutrientes, etc.) y la demanda de nutrientes (uptake) de las algas. Entonces una concentración de nutrientes muy baja no entrega información acerca de si el alga está limitada levemente, severamente o moderadamente. Algunas poblaciones de algas pueden obtener nutrientes de otras fuentes como material particulado en la superficie (Schaffelke, 1999) o por excreción animal (Taylor & Rees, 1998). La concentración de nutrientes en los tejidos se requiere para determinar la severidad de la limitación de nutrientes.

La cantidad de nutrientes que se requiere para el máximo crecimiento se llama tasa óptima. Como se dijo antes la tasa optima de N:P para algas es 30N: 1P con un rango de 10:1 a 80 :1 (Atkinson & Smith, 1983). Una tasa 30N: 1P significa que el alga consume todo el N y el P en esa tasa, entonces desde el punto de vista de acuicultura, es más económico agregar N y P en esa tasa. Si la tasa es  $> 30N:1P$  el crecimiento de alga estará limitado por P y el excedente de N será acumulado en los tejidos. Similarmente cuando la tasa  $< 30:1$  el crecimiento estará limitado por N y el excedentes de P puede permanecer en el agua o ser almacenado en los tejidos. Si no se conoce es recomendable determinar el óptimo por especie. El método ha sido descrito por (Rhee, 1978) para fitoplancton y para macroalgas.

#### **d.- Mecanismos de tasas de incorporación**

Los nutrientes pueden ser absorbidos por diferentes mecanismos. El transporte pasivo o difusión permite incorporar moléculas como gases si es que hay un gradiente favorable

de concentración. El transporte activo para el fósforo y nitrógeno inorgánico está implícito cuando la tasa de absorción vs la concentración de nutrientes alcanza una hipérbola rectangular.

Algunas algas no muestran tasa de saturación en altas concentraciones de nutrientes en el medio ambiente, su tasa de absorción aumenta linealmente con la alta adición de nutrientes (para nitrato y amonio en algas pardas como *Laminaria*) (Harrison, et al., 1986). La absorción no saturada en algas es comúnmente reportada para amonio y sugiere un transporte pasivo (DeBoer & Whoriskey, 1983; Taylor & Rees, 1999). Este puede ser explicado por la conversión de  $\text{NH}_4^+$  en la superficie del talo a  $\text{NH}_3$  (debido al alto pH en la superficie de la célula por incorporación de  $\text{CO}_2$ ). La absorción no saturada también ha sido reportada para nitrato ( $\text{NO}_3^-$  y urea).

Las tasas de incorporación varían considerablemente debido a factores físicos, químicos y biológicos. Factores físicos como luz, temperatura, desecación y movimiento de agua influyen sobre la cinética de absorción. Para *Macrocystis* se ha demostrado que la absorción de nitrato disminuye con menor intensidad lumínica (Wheeler, 1982), mientras los niveles de luz no tienen influencia sobre la absorción de amonio. En *Porphyra*, el nitrato es mejor fuente de N que el amonio para el crecimiento el alta intensidad lumínica ( $160 \mu\text{moles m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), pero en bajas intensidades ( $50 \mu\text{moles m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) las tasa de crecimiento son similares para distintas fuentes de N. Para fósforo en *Pelvetia* y *Fucus* la tasa de incorporación en oscuridad y luz son similares, mientras que en *Ulva* la tasa disminuye a un 50% en la oscuridad comparado con luz (Harrison & Hurd, 2001).

Cuando el nitrato es incorporado por las algas puede ser almacenado intracelularmente en la vacuola y en el citoplasma o reducido a nitrito vía enzima nitrato reductasa. El nitrito es transportado desde el citoplasma a los cloroplastos donde es reducido a amonio vía enzima nitrito reductasa. Similarmente, la urea es absorbida y almacenada en la vacuola al citoplasma y reducida a amonio vía enzima ureasa. El amonio es tomado desde  $\text{NO}_3^-$  o urea y convertido en amino ácidos vía sintetasa glutamina en los cloroplastos. El almacenamiento de nitrato cuando es mayor la absorción (uptake) de nitratos es mayor

que la tasa de conversión  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NO}_2^-$  debido a los factores tales como baja actividad de la nitrato reductasa.

#### **e.- Criterios de selección para las macroalgas**

El explosivo crecimiento de la acuicultura, que aumentó la producción desde 20 millones de ton en los años 50 hasta 157 millones de ton en el año 2005 (FAO, 2006), marcó el inicio del desarrollo de la Acuicultura Multi-Trófica Integrada (IMTA en Ingles, AMTI en español) como una de las alternativas para minimizar el impacto y aumentar el número de organismos cultivados (Chopin, et al., 2001). En los años posteriores (Neori, 2008) señaló que la expansión del cultivo de organismos marinos necesitaba una “diversificación trófica” combinando el cultivo de carnívoros de niveles tróficos altos con organismos de niveles tróficos bajos como algas y filtradores. De manera que la aplicación de sistemas integrados multitrofos representaba una alternativa eco-tecnológica, donde se optimizaba la productividad y la utilización de energía para remover y reciclar los metabolitos tóxicos producidos en sistemas de recirculación (Buschmann, et al., 2001b; Chopin, et al., 2001; Troell, et al., 2003; Troell, et al., 2009). Se espera que un cultivo integrado multitrofico debiera balancear desechos orgánicos e inorgánicos eliminados por los organismos, reciclarlos y extraerlos del medio ambiente por otros.

En Chile, las estadísticas oficiales señalan que el cultivo de salmones y de mejillones ha crecido en el tiempo llegando a producir 786.000 ton de salmónidos y 254.151 ton de mejillones en el año 2013. Este incremento en producción ha estado acompañado del uso más intensivo de zonas costeras, registrándose una expansión de la actividad de acuicultura hacia las regiones de Aysén y Magallanes. En el caso del cultivo de salmones este, corresponde a un cultivo intensivo a gran escala de especies de alto nivel trófico (peces carnívoros) que requieren de alimentación externa, generando altos niveles de nutrientes al medio ambiente. El cultivo de mejillones es extensivo y por los volúmenes de producción actuales, dejó de ser una actividad a pequeña escala, desde el punto de vista ambiental. (Soto, et al., 2007), reportan que los cultivos de salmónidos aportan cantidades

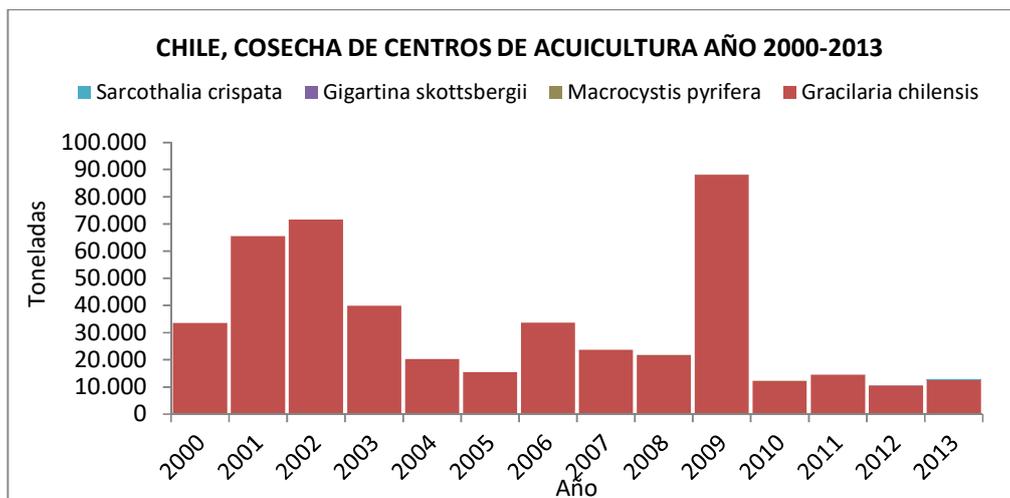
equivalente de N a los sistemas acuáticos de agua dulce y marinos que los que aporta la ganadería en la Región de Los Lagos.

Datos de literatura indican que en sistemas de estanques en tierra, las algas pueden remover entre un 35% y 100% de nitrógeno disuelto producidos por un cultivo con alimentación externa (Troell, et al., 2003). La eficiencia del sistema depende del objetivo del cultivo, ya sea máximo crecimiento de las algas o máxima capacidad de remoción. Se ha descrito que las interacciones de densidad, niveles de luz y disponibilidad de nutrientes (Buschmann, et al., 2008a; Abreu, et al., 2009) afectan los rendimientos de las algas, otro factor importante es definir la frecuencia de cosecha del cultivo para maximizar el rendimiento lograr una rentabilidad económica (Troell, et al., 2009). Se ha demostrado que el crecimiento de las algas en sistema multitróficos puede ser hasta un 50% superior a zonas de control (Chopin, et al., 2004).

De acuerdo a lo señalado por (Buschmann, et al., 1996a) las algas pueden remover hasta un 85% del N producido en un cultivo de salmones. Estudios han mostrado la eficiencia de las algas (*Gracilaria chilensis*, *Macrocystis sp*) como bioremediadores en las costas de la Región de Los Lagos (Troell, et al., 1997; Buschmann, et al., 2008b; Abreu, et al., 2009). Sin embargo es importante señalar que los antecedentes indican que se requieren de al menos 100 ha de cultivo de algas para remover el 80% del N producido por un cultivo de 1 há de salmones (Buschmann, et al., 2013).

#### **f.- La elección del mejor candidato**

En Chile el desembarque total de algas, ha crecido significativamente en los últimos años sobre todo en lo referido a explotación de algas pardas, alcanzando volúmenes sobre las 500.000 toneladas húmedas el año 2013. El cultivo de algas en cambio no ha mostrado un incremento importante sistemático en los últimos 10 años, siendo *Gracilaria chilensis*, la especie que predomina en cosecha de algas. Existe información de cultivos comerciales de algas pardas y rojas los cuales no han tenido continuidad en el tiempo de acuerdo a las estadísticas oficiales que entrega Sernapesca ([www.sernapesca.cl](http://www.sernapesca.cl)) (Figura 16)



**Figura 16.** Estadística de cultivo de especies de macroalgas en Chile. Fuente: SERNAPESCA.

De acuerdo a lo especificado por (Buschmann, et al., 2013) existen bases tecnológicas para el cultivo comercial de otras especies de algas (e.g. *Macrocystis pyrifera*, *Sarcothalia crispata*, *Gigartina skottsbergii*, *Chondracanthus chamissoi*) pero el valor actual de comercialización no es atractivo para empresas ni inversionistas. La incorporación de algas en un sistema de cultivo integrado multitrófico requiere que la especie de macroalga que se incorpore tenga ciertas características como:

- Alta tasa de crecimiento y alta tasa de concentración de N en sus tejidos
- Ciclo de vida fácil de monitorear y cultivar
- Resistente a epifitos y enfermedades
- Requerimientos eco fisiológicos coincidentes con los del sistema
- Especie local o especie introducida previamente
- Valor comercial

La tasa de crecimiento está relacionada con la morfología de la especie, existiendo una relación directa entre la superficie, área y volumen del alga con una mayor tasa de crecimiento. Las algas filamentosas o laminares de frondas no muy gruesas tendrán mayor tasa de crecimiento que aquellas de frondas gruesas. Cuando se considera el uso de algas como biofiltros, se debe seleccionar aquellas que crecen bien en altas

concentraciones de nutrientes particularmente, amonio. Especies de *Gracilaria* y *Ulva* han sido probadas con muy buenos resultados, sin embargo la desventaja es el precio de estas algas en el mercado.

Por otra parte la expansión de mercados como el de China en el cultivo de algas a bajo precio, genera incertidumbre y hace que la inversión en este tipo de especies sea poco atractiva para las empresas acuicultoras (Tabla 2). Se deben buscar alternativas de incorporación de valor a productos de algas, como es su uso en cosmética o medicina u otros. En Chile actualmente se discute en la Cámara del Senado un proyecto de ley que contempla un incentivo o bonificación al cultivo de algas, que podría estimular su demanda y producción.

Tabla 2. Especies de macroalgas que han sido utilizadas para el cultivo integrado multitrófico.

<b>Especie</b>	<b>Origen de estudio</b>	<b>Publicación</b>
<i>Macrocystis pyrifera</i>	Chile	(Troell, et al., 2009) (Buschmann, et al., 2008b)
<i>Gracilaria chilensis</i>	Chile	(Buschmann, et al., 1996b) (Abreu, et al., 2009)
<i>Ulva sp.</i>	Chile	(Macchiavello & Bulboa, 2014) (Lawton, et al., 2013)
<i>Sacharina latisima</i> <i>Alaria esculenta</i>	Noruega, Canadá	(Wang, et al., 2014) (Reid, et al., 2013) (Chopin, et al., 2004) (Lander, et al., 2004)
<i>Laminaria japonica</i>	China	(Troell, et al., 2009) (Xu, et al., 2011)

### **3.1.12.-Eficiencia, calidad y viabilidad económica de los Cultivos Multi-Tróficos Integrados**

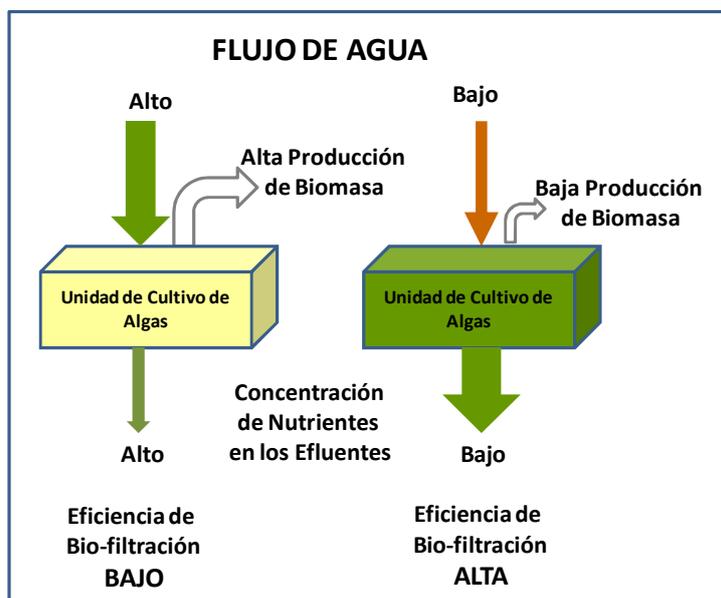
Los estudios realizados tanto en cultivos en tierra como en ambientes marinos alejados de la costa, confirman que los nutrientes liberados por las especies cultivadas con alimentos exógenos son adecuados para el crecimiento de las algas marinas (Troell, et al., 2003). El crecimiento y rendimiento de las algas marinas son afectados por la elección de las especies de peces en cultivo, el diseño de los centros de cultivo, las prácticas de alimentación y parámetros sitio-específicos adicionales (Troell, et al., 2009).

Resultados de sistemas desarrollados en **tierra** indican que las algas marinas pueden extraer entre el 35% y 100% del nitrógeno disuelto generado por los peces en cultivo (Troell, et al., 2003). No obstante, estas cifras dependen de los objetivos específicos de los estudios, por ejemplo, maximización del CRECIMIENTO de las algas o maximización de la capacidad de REMOCIÓN (Buschmann, et al., 2001b; Troell, et al., 2003). Bajo algunas circunstancias, tales como ocurre en sistemas de recirculación, la eficiencia en la reducción de los nutrientes (definido como la reducción promedio en la concentración porcentual de nutrientes en el agua) puede ser el factor principal de incorporación. Bajo otras circunstancias, la maximización de la producción y la calidad de la biomasa, v.g. alto valor comercial de las especies extractivas en un cultivo integrado de algas-abalones (Troell, et al., 2006), puede ser el factor principal.

Es importante indicar que, desde el punto de vista de la bio-filtración, se debe aclarar algunos conceptos, debido a que tienen diferentes interpretaciones y significados (Buschmann, et al., 2001b).

La EFICIENCIA DE CONSUMO DE NUTRIENTES se define como la Reducción Promedio (%) en la Concentración de Nutrientes.

La TASA DE CONSUMO DE NUTRIENTES se define como la Cantidad de Nutrientes Extraídos por Unidad de Tiempo (Figura 17).



**Figura 17.** Modelo general que muestra el efecto de la tasa de recambio de agua sobre el crecimiento y eficiencia de bio-filtración. Una alta tasa de recambio de agua determina una alta capacidad producción de biomasa, en la medida que los nutrientes no son un factor limitante, sin embargo, la eficiencia de bio-filtración disminuirá. Por otro lado, si la tasa de recambio de agua se reduce, los nutrientes se harán limitantes, lo que implica para las algas una disminución en su capacidad de crecimiento, pero un aumento de su capacidad de eficiencia de biofiltración (extraída y modificada de (Buschmann, et al., 2001b))

Ambos conceptos varían dependiendo de las condiciones ambientales que presenta el cultivo durante periodos específicos, pero también de las condiciones de algunos cultivos como la profundidad del estanque, densidad del cultivo y la tasa de recambio de agua. Por ejemplo, experiencias con el alga *Ulva* mostraron que la Eficiencia de Consumo de Nitrógeno estuvo inversamente relacionada con el intercambio de agua y directamente relacionada con la densidad de cultivo del alga en los estanques de cultivo que usaban los efluentes de peces, y la Tasa de Consumo de Nitrógeno estuvo directamente relacionada tanto con el flujo como con la densidad de cultivo (Jiménez del Río, et al., 1994). Estudios llevados a cabo en Chile llegaron a la misma conclusión de que la Eficiencia de Consumo de Amonio disminuyó con la tasa de recambio de agua, pero el consumo por gramo de *Gracilaria* aumentó por unidad de tiempo (Muñoz & Varas, 1998).

La importancia de distinguir las diferentes implicaciones está relacionada con el objetivo que se busca con el estudio: si el propósito es obtener descargas “limpias”, la Eficiencia de Consumo es un buen indicador, pero si el objetivo es aumentar la producción de biomasa, expresándose en una menor reducción de nutrientes en el agua de descarga, el concepto de Consumo de Nutrientes sustenta mejor los puntos a alcanzar con este objetivo (Buschmann, et al., 2001b).

En general, los estudios relacionados con el uso de algas marinas para la extracción de residuos pueden ser clasificados en aquellos desarrollados para sistemas abiertos y aquellos orientados para el reciclamiento de aguas residuales en sistemas de cultivo basados en tierra. En sistemas de cultivo abiertos (v.g. marinos), las aguas residuales son difíciles de controlar (Buschmann, et al., 2001b). Si el factor limitante es el nitrógeno, el nitrógeno producido por los peces en cultivo puede estimular el aumento de la productividad de las algas marinas y permitir la extracción de los nutrientes.

A pesar que algunas algas café y algas rojas muestran una alta capacidad para extraer nitrógeno inorgánico disuelto presente en los efluentes de peces, y que la producción de algas es alta en áreas que rodean las jaulas de peces en comparación a condiciones aisladas (), la extracción de nutrientes no parece ser altamente significativa.

La capacidad de las algas cultivadas en ambientes marinos alejados de la costa con el objetivo de extraer nutrientes desde la columna de agua, se puede estimar basándose en la fracción disponible de nutrientes requeridos por las algas en cualquier puntos dado en el tiempo. Sin embargo, las características del ambiente marino en sectores alejados de la costa donde se ubican las balsas jaulas hacen difícil medir en forma precisa los cambios en las concentraciones de nutrientes en el agua, dado que estos variarán considerablemente en función de las direcciones de las corrientes, profundidad, época del año, periodo del día y una multitud de otras variables (Troell, et al., 2009). Dicha variabilidad ha llevado a conclusiones divergentes en diferentes estudios acerca de la efectividad de los sistemas multi-tróficos integrados para la reducción de las concentraciones de nutrientes en la columna de agua (Troell, et al., 2003). Datos experimentales y cálculos de balance de masa

indican que se requeriría una gran área de cultivo de algas, hasta una hectárea por cada tonelada de biomasa de peces en cultivo, para extraer completamente los excesos de nitrógeno asociado al cultivo comercial de peces (Troell, et al., 1997).

Las interacciones entre la densidad de macroalgas, niveles de luz y disponibilidad de nutrientes (concentración o flujo) han sido estudiado bajo condiciones naturales (Harrison & Hurd, 2001; Buschmann, et al., 2008b; Abreu, et al., 2009) o en efluentes de peces cultivados en estanques (Cohen & Neori, 1991; Neori, et al., 1991). El crecimiento de las macroalgas bajo condiciones no limitantes depende de la cinética de saturación por la intensidad de luz, temperatura y otros factores ambientales, como también por las concentraciones de nutrientes en el ambiente (Buschmann, et al., 2008b). En un sistema de cultivo, a medida que aumenta la biomasa de algas, también se reduce la disponibilidad ambiental de ambos factores de crecimiento (luz y nutrientes) y, de este modo, disminuyen fuertemente las tasas de crecimiento. Además, el crecimiento de las algas marinas y su eficiencia de biofiltración son funcionalmente independientes (Buschmann, et al., 2001b). A medida que los niveles de nutrientes caen, se hace más importante para la tasa de consumo la turbulencia del agua alrededor de las macroalgas (Gonen, et al., 1993; Msuya & Neori, 2008). Por lo general, el raleo o cosecha periódica de las algas soluciona estas limitaciones, pero en cultivos comerciales en el mar esta práctica puede tener implicaciones logísticas y de costos (Troell, et al., 2009).

### **3.1.13.- Dificultades y recomendaciones para la adopción de la Acuicultura Multi-Trófica Integrada en Chile**

Cómo los factores económicos son los que orientan el desarrollo de la acuicultura en Chile, las implicaciones ambientales de esta actividad están aún un paso atrás. Se ha indicado que es importante incentivar las prácticas AMTI para incrementar el valor económico de los organismos co-cultivados, especialmente las algas marinas (Gutiérrez, et al., 2006; Buschmann, et al., 2008a). Algunas otras ideas han ido en la dirección de que la internalización de los costos de remoción de residuos debería incentivar el desarrollo de

tecnologías para reducir las amenazas ambientales (Buschmann, et al., 1996a; Buschmann, et al., 2008a; Neori, et al., 2007). La idea de desarrollar bonos de nitrógeno (Chopin, et al., 2010) también ha sido considerado como una herramienta que podría promover la incorporación de los AMTI como una manera de reducir algunos impactos ambientales de la acuicultura intensiva. En este contexto, es altamente relevante estimular a las agencias gubernamentales que consideren alternativas para reducir los riesgos ambientales de la acuicultura. Esto es especialmente importante en países como Chile donde la maricultura está liderada fundamentalmente por el cultivo de organismos de nivel trófico alto como es el caso de los salmones.

La acuicultura chilena enfrenta un segundo tipo de restricción, que está relacionada con su reducido respaldo científico (Buschmann, et al., 2009). La capacidad reducida de la industria del salmón para desarrollar estrategias de contingencia en relación con la emergencia del virus ISA durante los últimos años es un claro ejemplo de esta deficiencia. La tecnología para reducir la emisión de residuos existe (Buschmann, et al., 2008a), pero requiere ser estudiada y adaptada a las condiciones ambientales de Chile. La hidrodinámica en la región acuícola del sur de Chile tiene algunas condiciones especiales que requieren un entendimiento mucho mejor. Los movimientos de las masas de agua también requieren un mayor estudio para determinar los patrones de dispersión de residuos y la capacidad de carga del sistema, y el problema no se soluciona sólo con operaciones de movimiento costa afuera con la expectativa que la difusión será la solución (Troell, et al., 2009). La aplicación exitosa de estos nuevos conocimientos y tecnologías innovadoras requerirá de interacciones entre disciplinas y una fuerte comunicación con las autoridades normativas. Parece que sólo en este tipo de verdadero ambiente de interacción, la introducción de una estrategia de ingeniería ecológica (sensu (Troell, et al., 1999b) en el desarrollo acuícola permitiría disponer de las bases para un nuevo contrato social para que la acuicultura sea inclusiva para todas las partes interesadas (Costa-Pierce, 2010). Compartimos la fuerte creencia que esto es posible en Chile, asumiendo los errores y las consecuencias ambientales que produjeron pérdidas

económicas significativas en el pasado reciente para producir un nuevo paradigma de desarrollo sustentable.

### **3.1.14.- Dificultades para el escalamiento a nivel piloto y comercial de resultados experimentales de IMTA**

Los resultados de cultivos marinos multi-tróficos integrados nivel experimental y a pequeña escala, son difíciles de extrapolar a centros de cultivos marinos más grandes y a escala industrial (Troell, et al., 2009; Troell, et al., 2003). Los procesos interactivos complejos que relacionan la biomasa, consumo y concentración de nutrientes de un sistema de cultivo multi-trófico integrado balanceado puede ser difícil examinar en forma completa a partir de diseños experimentales balanceados parcialmente. Es necesario realizar el escalamiento de los sistemas multi-tróficos experimentales hacia operaciones comerciales por tres razones: 1) El efecto/eficiencia de la bio-mitigación de las especies extractivas no se puede medir fácilmente cuando su biomasa es pequeña en comparación con la biomasa de las especies generadoras de residuos orgánicos e inorgánicos; 2) no se puede predecir en forma precisa la producción potencial de biomasa; y 3) los costos y beneficios económicos tampoco son fácilmente extrapolables a partir de sistemas experimentales pequeños a operaciones comerciales. No es posible la extrapolación de la capacidad de extracción de nutrientes por parte de las especies extractivas en experimentos a pequeña escala, en consideración a que la eficiencia de remoción no es lineal, y de este modo no hay precisión al multiplicar los resultados experimentales a pequeña escala incrementando los valores de biomasa. Además, la comprensión de cómo afecta a las especies extractivas la variabilidad temporal en el seston natural y las concentraciones de nutrientes disueltos sólo puede ser obtenido a partir de experimentos dentro de sistemas a escala comercial, considerando que el aumento de infraestructura y biomasa de especies extractivas en el sitio también tiene impactos sobre el agua y los patrones de circulación del agua a través de respuestas de retroalimentación negativa. La optimización de la bio-mitigación requiere ajustes de la proporción de organismos alimentados a organismos extractivos para cada sitio en particular, basado en las

características físicas, químicas e hidrodinámicas locales, como también de las características fisiológicas y metabólicas de los organismos involucrados y la situación socio-económica local (Troell, et al., 2009).

### **3.1.15.- Filtradores y otras especies extractivas**

La integración de organismos filtradores suspensívoros con peces cultivados en jaulas no es algo sencillo. La materia particulada (v.g. residuos de alimento y fecas provenientes de las jaulas de peces) y el fitoplancton que crece a expensas de los nutrientes excretados por los peces, son alimentos disponibles para los filtradores. En varios estudios, los mejillones y ostras crecen más rápido cuando son cultivados cerca de jaulas de peces (Wallace, 1980; Jones & Iwama, 1991; Lefebvre, et al., 2000; Lander, et al., 2004). Sin embargo, hay otros estudios que muestran un incremento insignificante o ninguno (Taylor, et al., 1992; Stirling & Okumus, 1995; Gryska, et al., 1996; Mazzola & Sara, 2001). Las diferencias se pueden deber a diferentes condiciones ambientales y de diseños de cultivo, como también a protocolos de muestreo. La concentración de **materia orgánica particulada** es el único factor de más importancia que determina la tasa de crecimiento de los mitílidos. De esta manera, se propone que las variaciones tanto a nivel temporal como espacial en la disponibilidad de alimento en los cuerpos de agua naturales son la explicación de los diferentes grados de éxito en los sitios experimentales de cultivos multi-tróficos integrados (Troell, et al., 2009). Algunos modelos publicados sobre la generación y retención de sólidos suspendidos en una cultivo multi-trófico (Troell & Norberg, 1998) identificaron limitaciones en el uso de filtradores para la extracción de partículas provenientes de las balsas jaulas de peces, las cuales incluyen: 1) la dilución de los sólidos suspendidos por el gran volumen de agua que pasa a través de las jaulas, 2) sedimentación de las partículas que salen de las jaulas pasando por debajo de las cuelgas de cultivo de moluscos, 3) efectos variables de la duración e intensidad de las operaciones de entrega de alimento a los peces en las jaulas (v.g. alimentación manual vs control automático), y 4) retención total de partículas, en la medida que está limitada, por ejemplo, por el nivel umbral de pseudo-fecas de los mitílidos. Por lo tanto, se concluye en

este trabajo (Troell & Norberg, 1998), que la concentración de seston en el ambiente es de vital importancia en el control del crecimiento de los mitilidos, y que un aumento de los sólidos suspendidos provenientes de las balsas jaulas sólo puede contribuir significativamente durante periodos de baja producción de plancton o baja concentración de partículas orgánicas naturales. Sin embargo, la forma de entrega de alimento se ha automatizado gradualmente con consecuencias para la IMTA que se deben analizar.

Al igual como acontece con las macroalgas, hay una cantidad limitada de información sobre la factibilidad económica del co-cultivo de bivalvos con la producción de peces. Un estudio sobre la factibilidad económica de acuicultura integrada de salmones y mejillones en centros de cultivo cercanos a la costa concluye que un sistema integrado mejillón-salmón podría ser económicamente rentable dependiendo del tamaño del centro de cultivo, precio de mercado del salmón y la intensidad de las prácticas de cultivo (Whitmarsh, et al., 2006).

### **3.1.16.- La Acuicultura Multi-Trófica Integrada en ambientes marinos abiertos – posibilidades y limitaciones**

La experiencia y estudios existentes sobre los sistemas costeros de Acuicultura Multi-Trófica Integrada pueden ser extrapolados a la Acuicultura Multi-Trófica Integrada en ambientes marinos más abiertos. Esto requiere identificar las similitudes y diferencias relevantes entre los ambientes de cultivo costeros y los más expuestos. Los peces a cultivar en ambos ambientes por lo general serán de alto valor comercial, lo cual, dada la actual demanda de mercado, consisten principalmente de especies carnívoras cultivadas bajo prácticas intensivas (Naylor & Burke, 2005). Existe una cantidad significativa de estudios sobre muchas de estas especies en ambientes costeros, pero en el futuro, en la medida que se incorporen nuevas especies adecuadas para ambientes más expuestos, pueden diferir las densidades de cultivo, comportamientos alimentarios, formulaciones de alimento especie-específico e índices de conversión de alimento (Troell, et al., 2009). No está claro si los residuos liberados (v.g. calidad de la materia disuelta y particulada) puede

diferir en ambientes más expuestos en comparación a los niveles observados en la actualidad en los centros de cultivo en ambientes costeros (Lin & Bailey-Brock, 2008; Reid, et al., 2009). Sin embargo, se estiman mayores cantidades de residuos por sitio de cultivo, en la medida que la escala de operaciones en áreas más abiertas serán probablemente muchos más grandes que las existentes en instalaciones cerca de la costa. La distribución de residuos desde estos centros de cultivo también diferirá debido a 1) diferencias en las corrientes y acción de las olas, y 2) distribución de los residuos a mayor profundidad, cuando se usan jaulas sumergidas. Aunque la acuicultura en áreas expuestas es principalmente pelágica, hay sin embargo un riesgo que las corrientes y la sedimentación puedan transportar los residuos desde los centros de cultivo a ambientes bentónicos a mayores profundidades, donde la capacidad de asimilación es reducida en gran medida. Investigaciones inadecuadas es actualmente disponible sobre los ciclos de los nutrientes e ambientes más abiertos y expuestos. De esta manera, el IMTA puede representar una medida precautoria contra impactos ecológicos potenciales del cultivo de peces en aguas expuestas. Algunos costos ambientales pueden ser mayores en ambientes marinos expuestos que para sectores ubicados más cerca de la costa (v.g. entradas de residuos y energía por transporte de alimento y materiales), pero pueden ser compensados por la habilidad para capitalizar sobre la escala económica. La competencia con otros usos a menudo limita la escala y expansión de los centros de cultivo en el borde costero.

### **3.1.17.- Consideraciones de diseño para los IMTA en aguas marina abiertas**

#### **a.- Corrientes marinas y fuerzas hidrodinámicas**

Tanto la magnitud como la dirección de las corrientes son importantes para los sistemas IMTA, en la medida que estos determinan los flujos de nutrientes y partículas, y de este modo la orientación apropiada de las diferentes especies dentro de las unidades de cultivo. La importancia de las últimas puede ser visualizada considerando un cultivo integrado de laminarias-ostión. En los últimos estados de cultivo de las laminarias, las longitudes de las *Laminaria* pueden alcanzar 2-3 m, lo cual es suficiente como para interactuar con las redes de cultivo de los ostiones. Si la dirección de las líneas de cultivo

no es paralela a la dirección de la corriente, las Laminarias pueden llegar a enredarse en las redes de los ostiones. Una vez que ocurre esta situación, el flujo del agua a través de las redes se reduce enormemente, con una reducción coincidente en el intercambio de partículas y suministro de alimento. Obviamente, las consecuencias de esta situación serán el crecimiento reducido de los ostiones y puede también, bajo condiciones extremas, producirse pérdidas de biomasa debido al enredo. Existen inquietudes similares con las interacciones entre los cultivos de moluscos y macroalgas en la proximidad de las jaulas de salmónes, donde la proximidad de las especies co-cultivadas arriesga una reducción del flujo de agua a través de las jaulas, y puede afectar el flujo de residuos en la columna de agua.

Una pregunta importante a responder con respecto a los IMTA en ambientes más expuestos es si las especies extractivas pueden resistir a las fuerzas hidrodinámicas prevalentes. Además de la fuerte velocidad de corrientes, la aceleración debida a las olas puede causar fuerzas intensas sobre las especies y la infraestructura de cultivo (Carrington, et al., 2001; Buck & Buchholz, 2004; Gaylord, et al., 2008). El movimiento orbital puede ser un factor especialmente crítico para el diseño de los sistemas (Buck & Buchholz, 2005). Comparado con el crecimiento de los peces en las jaulas, los filtradores y algas marinas generalmente dependen de su propia habilidad para adherirse al sustrato mediante el biso (mejillones) o el grampón (algas marinas). Las técnicas de cultivo generalmente requieren que dichas especies sean entrelazadas o amarradas a cuerdas o contenidas en redes (Buck & Buchholz, 2004; Chopin, et al., 2004). Las fuertes corrientes en algunas situaciones de aguas más expuestas impedirán el cultivo de dichas especies si no se usan métodos de fijación correctos. (Buck & Buchholz, 2004) encontraron que las cuerdas de cultivo de las macroalgas (*Saccharina*), incluyendo líneas, construcciones de escala y cuadrículas ( $\lambda$ ), son todas inadecuadas para el uso en aguas expuestas. Un "diseño anillado" desarrollado por los autores probó, sin embargo, éxito. (Halling, et al., 2005), también informaron pérdidas de biomasa de *Gracilaria* desde líneas de cultivo en aguas expuestas en Chile. El único método que parece ser adecuado fue una modificación de un método desarrollado por (Westermeier, et al., 1993). La mayor parte de métodos de

cultivo de algas no están diseñados para aguas expuestas y requieren algunas modificaciones para soportar condiciones extremas (especialmente fuerzas de arrastre, (Buck & Buchholz, 2005).

El cultivo de mejillones ya está tomando lugar en aguas expuestas en varios países (v.g. Irlanda, Alemania, Escocia, EE.UU, Francia, Holanda, Nueva Zelanda, Japón y China). Estos sistemas, comparados con las aplicaciones o tecnologías usadas cerca de la costa o sitios protegidos, pueden responder mejor al continuo oleaje, corrientes y eventos de mal tiempo. A menudo estos sistemas también necesitan un mínimo de mantención y por lo tanto menos frecuente visitas al sitio por parte del personal. Sin embargo, aún hay muchas incertidumbres con respecto a la selección y diseño de sitio. Actualmente existen sistemas de monitoreo con poco costo-efectivo y confiables. También hay una necesidad de innovación tecnológica en el diseño de plataformas (Stevens, et al., 2008). Sin embargo, dichas limitaciones pueden ser superadas en el futuro mediante avance en ingeniería (Stevens, et al., 2008). En la actualidad se están realizando significativos investigación en sistemas de cultivo de peces de aguas expuestas, y esta investigación puede ser extendida (o transferida) a otras especies y deberían haber incentivos adecuados para el co-cultivo en ambientes oceánicos.

#### **b.- Accesibilidad a nutrientes y energía**

Los nutrientes y la luz son factores ambientales claves que determinan la tasa de crecimiento y de esta manera la productividad de las algas marinas (Harrison & Hurd, 2001). Generalmente el nitrógeno limita la producción en las áreas costeras, y esta limitación pueden incluso ser más severa en aguas más abiertas no enriquecidas. El amonio, el principal compuesto nitrogenado excretado por los peces, acelera el crecimiento de las algas (Troell, et al., 1997). Considerando que las aguas más abiertas por lo general tienen una concentración natural más baja que los ambientes costeros, el efecto positivo sobre el crecimiento de las algas marinas por el efecto de la excreción de los peces, puede ser más pronunciado. Sin embargo, si los niveles naturales de nutrientes

disueltos son demasiado bajos, esto puede limitar a producción total de algas marina a pesar del enriquecimiento de nutrientes provenientes de las jaulas de peces. Para alcanzar el balance ecológico, la componente de algas de un cultivo integrado requerirá cubrir una gran área (Troell, et al., 1997; Buschmann, et al., 2001b; Buschmann, et al., 2008b). Un área relativamente grande es requerida para el cultivo de algas marinas debido al hecho que las algas dependen de la radiación solar que alcanza la parte superficial del mar, mientras que los otros organismos pueden ser cultivados más verticalmente en la columna de agua. Resultados recientes predicen que 100 ha de cultivo de *Gracilaria* pueden extraer 80% de las cargas de nitrógeno producidas por un cultivo de 1.500 ton de salmón (Buschmann, et al., 2008b; Abreu, et al., 2009). La dispersión de nutrientes dentro del centro de cultivo que ocupa dicha área extensa requiere más estudios, y probablemente es específica al sitio y tiempo; bajo condiciones experimentales altamente controladas, las macroalgas han mostrado que son capaces de extraer menos de 10 g de nitrógeno por día (Cohen & Neori, 1991). En centros de cultivo pequeños (v.g producción menor a 400 ton) el efecto positivo sobre las macroalgas puede ser detectada sólo cerca de las jaulas (Troell, et al., 1997). Sin embargo, el impacto de un centro de cultivo mucho mayor (>1.500 ton) sobre el crecimiento de las algas puede extenderse hasta 1 km del sitio de cultivo (Abreu, et al., 2009). Se espera que las tasas de remoción sean inferiores en un ambiente de océano abierto debido a la mayor dilución. El cultivo de algas marinas en el océano abierto es también sujeto a las condiciones superficiales tales como el viento, olas y en algunas zonas geográficas, el hielo marino. Las instalaciones para las macro algas pueden potencialmente impedir la navegación, mientras que el cultivo de bivalvos o peces pueden ser sumergidos a mayores profundidades.

Varios obstáculos tecnológicos deberían ser superados para el cultivo de macroalgas en aguas más expuestas. En la medida que con el cultivo de algas cerca de la costa exceso densidad de biomasa lleva a limitaciones de luz y nutrientes. Las condiciones de luz (v.g transparencia del agua) son, son embargo, generalmente mejores en ambientes más expuestos y las macroalgas pueden por lo tanto ser cultivadas a mayores profundidades, de esta manera evitando algunos problemas con la mezcla superficial y los movimientos

de corrientes no controlados, e incluso peligros para la navegación. Sin embargo, con respecto a la liberación de nutrientes desde jaulas de peces sumergidas, el efecto de la dispersión de los nutrientes sobre las algas marinas cerca de sitios de cultivo de peces dependerá de la profundidad a la cual son instaladas las respectivas estructuras. Instalaciones más profundas de jaulas de peces podrá dar como resultado en que menos nutrientes alcancen las aguas sub-superficiales, y de esta manera los sistemas sumergidos debería solo estimular el crecimiento de las algas a nivel superficial si la circulación de surgencia (ya sea natural o artificialmente inducida) es capaz de llevar nutrientes a la superficie.

### **C.-Temperatura**

Las especies en cualquier sistema de cultivo, incluyendo los IMTA, deberían ser fisiológicamente adaptados al régimen de temperaturas en el sitio de cultivo. Por ejemplo, una baja temperatura del agua es beneficiosa para el crecimiento de laminariales tales como *Laminaria* y *Saccharina* (Mann, 1972); sin embargo, el ostión *C. farreri* prefiere aguas más cálidas (Kirby-Smith & Barber, 1974). Antes de desarrollar un sistema IMTA en aguas abiertas, el régimen de temperaturas en el sitio de cultivo debería ser cuidadosamente investigado para evaluar conveniencia para el crecimiento de todas las especies que están siendo considerados dentro del sistema. Muchas especies extractoras habitan ambientes costeros y, por lo tanto, están adaptados a rangos amplios de temperatura que el régimen que puede ofrecer un ambiente de mar abierto.

### **d.- Organismos incrustantes (fouling) y calidad de los productos**

Se ha mostrado que la manipulación de los nutrientes (concentraciones, proporción nitrógeno/fósforo y regímenes de aplicación) impactan el rendimiento de biomasa de macroalgas, productividad y producción de epífitos (Friedlander, et al., 1991). La incorporación de nutrientes también impacta el contenido y calidad de productos, por

ejemplo, ficocoloides y proteínas (Martínez & Buschmann, 1996; Chopin & Wagey, 1999). Lo mismo se aplica para los organismos incrustantes, tales como los epífitos. La aplicación de agua dulce, oxígeno (exposición al aire), compuestos químicos y otras prácticas de manejo para el control de epífitos han sido exitosamente aplicada e cultivo en estanques (Buschmann, et al., 1994; Fletcher, 1995) y operaciones costeras (exposición de redes de *Porphyra* a la baja marea o con sistemas especialmente diseñados para emersión/inmersión, pero esto puede ser factible en sistemas de aguas abiertas (Buschmann, et al., 1997). Por ejemplo, (Halling, et al., 2005) experimentó altas cargas de mejillones adheridos sobre *Gracilaria* en líneas de cultivo próximas a jaulas de salmones, resultando en grandes pérdidas de biomasa de macrolagas durante la primavera. Dichos problemas pueden ser superados potencialmente mediante el momento adecuado de la transferencia de algas al agua. Por ejemplo, (Chopin, et al., 2004) evitó problemas de fouling mediante cuidadosa sincronización de las transferencias de algas a un sitio de acuicultura integrada con salmones, de manera tal de reducir el crecimiento epífito sobre las líneas de laminarias.

#### **e.- Interacciones terapéuticas y ambientales entre especies IMTA**

Estudios realizados en Canadá por más de ocho años, no han detectado ningún producto terapéutico usado en la salmonicultura, ni en algas ni mejillones colectados de sitios donde se cultivan en forma integrada (Haya, et al., 2004). Del mismo modo, los niveles de metales pesados, arsénico, bifenilos policlorados (PCBs) y pesticidas han estado por debajo de los límites regulatorios prescritos por la Canadian Food Inspection Agency, la FDA, y de las Normas de la Comunidad Europea. Pruebas de degustación de mejillones cultivados en sistemas monocultivos y mejillones cultivados en sistemas IMTA no muestran diferencias discernibles (Lander, et al., 2004). Además, ha habido inquietud de si los moluscos y macroalgas pudieran actuar como reservorios de enfermedades que afectan a los salmones. Un estudio reciente (Skar & Mortensen, 2007) indica que la elección cuidadosa de especies en un sistema AMTI tienen el potencial de controlar

algunas enfermedades. *Mytilus edulis* es capaz de reducir las cargas de ISAv en el agua. Los mecanismos no están completamente elucidados, pero existe el potencial de que ubicando estratégicamente mejillones alrededor de las jaulas de salmones, podrían actuar como posibles bio-filtros para la reducción o prevención de enfermedades.

### **3.1.18.- Consideraciones básicas sobre factibilidad económica de IMTA en aguas abiertas**

IMTA provee no sólo beneficios económicos a nivel de sitio de cultivo sino que también a niveles ambiental/social más amplios. Los mayores beneficios incluyen una reducción de las descargas de residuos, mejoramiento de la aceptabilidad social de la industria y trabajo adicional.

El logro de rentabilidad de las algas marinas en el cultivo IMTA en aguas abiertas puede requerir la identificación de especies que combinen una biofiltración efectiva y productividad con calidades específicas que generen precios más altos, tales como vegetales marinos, nutraceuticos e ingredientes cosméticos.

### **3.1.19.- Beneficios económico-ambientales**

La producción de macroalgas y mejillones en un Cultivo Multi-Trófico Integrado en aguas alejadas de la costa puede ser rentable por sí misma, pero si las propiedades extractivas son traducidas a beneficios económicos para los cultivadores, se generarían incentivos más fuertes para este tipo de integración. Los desafíos para alcanzar este objetivo, son 1) identificar y cuantificar los costos ambientales del cultivo mono-específico y, 2) encontrar formas de internalizar los efectos positivos de la integración con especies extractivas. En la medida que los residuos provenientes de la acuicultura sean identificados como amenazas potenciales para el ambiente, el desarrollo de la Acuicultura Multi-Trófica Integrada tendrá beneficios sociales y ambientales como también económicos. Para ser capaces de valorizar la mitigación de nutrientes mediante el uso de especies biofiltradoras, es necesario conocer los valores de bienes y servicios del ecosistema que se generan en los

ecosistemas naturales y como los afectan los residuos de la acuicultura. Este tipo de información es escasa, especialmente para ambientes de aguas más abiertas (Troell, et al., 2009).

### **3.1.20.- Interacciones terapéuticas y ambientales entre especies**

Un estudio indica que la elección cuidadosa de especies en un sistema AMTI tienen el potencial de controlar algunas enfermedades (Skar & Mortensen, 2007). *Mytilus edulis* es capaz de reducir las cargas de ISAv en el agua. Los mecanismos no están completamente elucidados, pero existe el potencial de que ubicando estratégicamente mejillones alrededor de las jaulas de salmónes, podrían actuar como posibles bio-filtros para la reducción o prevención de enfermedades.

Sin embargo, (Pietraka, et al., 2012) indica que los mitilidos son capaces de bio-acumular *Vibrio anguillarum* y propagar las bacterias virulentas a través de sus fecas.

Este es un tema que se está revisando y actualizando, porque este tipo de experimentos se han realizado en laboratorio, y se debe estudiar estos efectos bajo las condiciones de alta dinámica en el mar.

### **3.1.21.- Porcentajes de pérdidas de alimento de la industria del cultivo del salmón**

El balance de nitrógeno del cultivo en jaulas está gobernado principalmente por los residuos que se liberan en el proceso de cultivo y por la cantidad significativa de otros elementos ambientalmente relevantes que influyen sobre los procesos biológicos en la columna de agua, principalmente el nitrógeno, fósforo y silicato. En un estudio publicado por (Hall, et al., 1992) donde examinan el procesamiento del nitrógeno en los sistemas de cultivo intensivo en el mar, encontraron que entre el 67-80% de nitrógeno incorporado a las jaulas de cultivo se pierde en el ambiente. La mayor parte (50-60% del nitrógeno total) se pierde en forma disuelta, ya sea directamente desde los peces o a partir del flujo bentónico de los residuos sólidos que se acumulan bajo las jaulas.

Sin embargo, durante los últimos años los niveles de nitrógeno y fósforo en los alimentos artificiales han disminuido debido a que su fabricación se ha regido cada vez más por los

requerimientos dietarios de los peces. En particular, las dietas modernas tienden a contener más lípidos y menos proteínas. Esto ha dado como resultado una reducción general en los factores de conversión de alimento. Este índice tiende a acercarse a 1:1 en los cultivos de Europa, aunque se señala también que los métodos más eficientes de alimentación han jugado un rol fundamental en esta mejoría (Pearson & Black, 2001). El efecto neto es una reducción de la liberación de nitrógeno al ambiente.

En general, en los últimos años tanto las tecnologías de fabricación de alimento como las estrategias de alimentación han mejorado considerablemente. Es así como el índice de conversión de alimento (FCR) ha disminuido desde 3 kg de alimento para producir 1 kg de salmón en 1980, a una cifra levemente superior a un kilo en 1995, después de lo cual ha tendido a estabilizarse.

La mayor parte de esta reducción se debe un mayor uso de lípidos en los alimentos: un aumento del 1% en la tasa de incorporación de lípidos lleva a una reducción del 1% en la reducción de residuos orgánicos. Sin embargo, los nuevos sistemas de alimentación también han contribuido a reducir el FCR disminuyendo las pérdidas de alimento.

En los últimos 10 años, se han realizado grandes avances en la industria del cultivo del salmón para mejorar el factor de conversión de alimento. En 2003, la producción mundial de salmónes fue de 1,46 millones de toneladas (FAO, 2006) y se usó 1,9 millones de toneladas de alimento (Tacon, 2005). Esto significa que hubo una conversión global de alimento de alrededor de 1,3 en 2003. Esto implica una mejora significativa al compararla con la década pasada, donde, en 1993, la producción de salmónidos fue de 0,3 millones de tons y la producción de alimento para peces fue de 0,5 millones de ton (FAO, 2006), dando un FCR global de 1,7. La reducción de las pérdidas de alimento y la mejoría en la eficiencia de conversión de nutrientes reduce el FCR. Las mortalidades y escapes también afectan la producción de biomasa cosechable, la cual a su vez afecta el FCR. Como tal, no es posible atribuir cambios en el FCR a un factor específico. Sin embargo, mejorías en el FCR global de la producción de salmónidos sí sugiere un aumento total en la eficiencia de la industria para convertir los nutrientes contenidos en el alimento para peces a biomasa cosechable,

sin considerar si la pérdida de nutrientes corresponde a fecas, pérdidas de alimento o escape y mortalidad de peces (Reid, et al., 2009).

Las pérdidas de alimento han sido citadas por mucho tiempo como la principal contribución a la generación de residuos provenientes de los centros de cultivo comercial de salmón. En los comienzos de la salmonicultura, las pérdidas de alimento fueron una contribución significativa de aportes de sólidos desde las jaulas de peces. Las primeras estimaciones de pérdida de alimento en cultivo de salmónes en jaulas fue de alrededor de 20% (Beveridge, 1987), probablemente un factor significativo que contribuía a un FCR muy pobre. Esta reducción en las pérdidas de alimento se debe en parte a mecanismos de detección de pérdidas de alimento tales como las cámaras submarinas de vigilancia (Ang & Petrell, 1997; Parsonage & Petrell, 2003), que indican el cese de la alimentación cuando se detectan pérdidas de alimento. Se estima que debido a dichas tecnologías, las pérdidas de alimento están habitualmente bajo el 5% (Cromeey, et al., 2002). Sin embargo, es difícil determinar el porcentaje real de pérdidas de alimento debido a que puede variar de una operación a otra e incluso de un día a otro. Algunos modelos de dispersión de residuos y cargas de nutrientes consideran valores de pérdida de alimento entre un 3% (Cromeey, et al., 2002) y un 5% (Bureau, et al., 2003). Usando un método de balance de masas para calcular la composición y cantidad de residuos fecales, una pérdida de 3% de alimento comprenderá aproximadamente el 12% del total de residuos sólidos totales provenientes de un alimento típico para salmónes. La mayor parte de los sólidos perdidos desde un centro de cultivo intensivo de salmónes será de origen fecal (Reid, et al., 2009).

### **3.1.22.- Actualización de recopilación bibliográfica**

Junto con la preparación y realización del Taller de Discusión de los Resultados del Proyecto el 20 de diciembre de 2016 en Puerto Montt (ver Anexo XVI), se discutió sobre los últimos avances en materia de Acuicultura Multi-Trófica Integrada y se destacó principalmente el esfuerzo que se ha puesto en China con la implementación de cultivos multitróficos a mayor escala o escala industrial. Una de las principales preocupaciones es la falta de escalamiento industrial de este tipo de estrategia y, en este sentido, se destaca

las iniciativas llevadas a cabo en China, donde se observa un esfuerzo por implementar este tipo de estrategia a escalas productivas.

La maricultura ha experimentado un rápido desarrollo en China durante las últimas tres décadas. La producción anual alcanzó a 14.823.008 ton en 2010, transformando a China en uno de los mayores productores del mundo. Sin embargo, en la misma medida que aumenta la producción, han aumentando constantemente las concentraciones de nutrientes en las aguas provenientes de estos cultivos durante varias décadas; además, el rápido desarrollo económico y aumento de la población han ejercido una tremenda presión sobre los ecosistemas costeros (Liu & Su, 2015). Debido a que las especies de *Gracilaria* son ambientalmente ventajosas e importantes económicamente, su cultivo a escala industrial ha sido promovido por las autoridades chinas, lo que no sólo satisface las necesidades de la industria del agar y la industria abalonera, sino que también ha contribuido a mejorar la calidad del agua (Yang, et al., 2015).

A partir de información generada en laboratorio como de prácticas industriales, se ha documentado que el cultivo del alga *Gracilaria* representa un beneficio para el ambiente al ayudar a mitigar la eutroficación, controlar los afloramientos de algas nocivas, mantener la salud de los sistemas de maricultura y jugar un rol en el secuestro del CO<sub>2</sub>. En este sentido, su cultivo representa una nueva estrategia para el mejoramiento del ambiente costero en China y el mundo (Yang, et al., 2015). Por ejemplo, en la localidad China de Nan'ao ubicada en Shantou, Provincia de Guangdong, se ha desarrollado con éxito uno de los principales cultivos a escala industrial del alga *Gracilaria lamaneiformis* y su área cultivada aumentó 11.538 veces desde 0,13 hectáreas en 2000 a 1.500 hectáreas en 2011 (Yang, et al., 2015). El cultivo de esta alga ha mostrado ser una forma efectiva de reducir las cargas de N y P ambiental, y competir exitosamente con las especies FAN. Las especies de *Gracilaria* han sido cultivadas con éxito y experimentan un rápido desarrollo en las aguas costeras de China, siendo consideradas como biofiltros muy efectivos a escala industrial. Han llegado a ser las macroalgas más importantes para los sistemas IMTA y una herramienta de la ingeniería para la bioremediación en los cultivos marinos. La

bioremediación con cultivos a gran escala de estas especies se consideran muy prometedores en el mejoramiento de la calidad de las aguas y el control de FANs (Yang, et al., 2015).

Junto con el desarrollo y crecimiento de las estrategias de bioremediación, en los últimos años se observa también un gran interés por el desarrollo de una acuicultura sustentable y la implementación de la Acuicultura Multi-Trófica Integrada. En este sentido se han estado realizando estudios para caracterizar la dinámica de los nutrientes asociados a los sistemas IMTA tendientes a mejorar las estrategias de extracción de estos (Li, et al., 2016; Fang, et al., 2016; Mahmood, et al., 2016; Ning, et al., 2016; Wu, et al., 2015b).

Otra línea que se ha visto reforzada entre los grupos de investigación, es el diseño de modelos para evaluar la eficiencia de los IMTA, como por ejemplo la modelación dinámica STELLA basada en el contenido de nitrógeno (Kambey & Chung, 2015), que busca introducir lineamientos estratégicos potenciales para la implementación de los IMTA que ayuden a mejorar el manejo y capacidades predictivas y elevar la aceptación social de dichos sistemas. Estos modelos han permitido evaluar la respuesta de la introducción de organismos detritívoros, como por ejemplo, los pepinos de mar. También existen propuestas de modelos para optimizar la productividad y eficiencia de bio-remediación de los IMTA (Lamprianidou, et al., 2015), y para evaluar el rol de los depositívoros (Cubillo, et al., 2016). Se proponen estrategias de modelación con inferencia bayesiana para reducir la variabilidad en la estimación de la bio-remediación de los cultivos AMTI (Hadley, et al., 2016). También se ha avanzado en el desarrollo de la modelación numéricas para evaluar del efecto biomitigador de la IMTA en ambientes marinos (Zhang & Kitazawa, 2016). Es así como, aunque ha habido un considerable desarrollo de las estrategias IMTA a nivel mundial, se requieren mayores estudios para mejorar su diseño. Se han desarrollado modelos numéricos tri-dimensionales para simular las dinámicas de las corrientes marinas y de los residuos orgánicos en la Bahía de Gokashom, Japón, que ayuden a tomar decisiones en el diseño de los sistemas IMTA (Zhang, et al., 2016).

La investigación y desarrollo de la Acuicultura Multi-Trófica Integrada en Chile se ha localizado principalmente en la zona sur del país y ha estado enfocada de preferencia a bio-remediar el impacto de los cultivos de salmones. Sin embargo, hay otros grupos de investigadores que han publicado trabajos sobre IMTA de *Gracilaria chilensis* y *Ulva lactuca* integrado con abalón (Macchiavello & Bulboa, 2014): eficiencia del consumo de nutrientes de dos macroalgas cultivadas en estanques asociados a aguas residuales del cultivo de abalones en estanques en tierra. También existen algunas iniciativas en la IV Región lideradas por la Universidad de Valparaíso, que buscan mejorar la eficiencia de los cultivos de ostión, erizo y macroalgas, integrándolas para el control de organismos fouling: Proyecto FIC 33-03-227.

En relación a la opinión pública, se han mantenido líneas de investigación que buscan modelar la percepción sobre estas estrategias de cultivo ecosistémico. Los beneficios que perciben los usuarios del borde costero de las estrategias IMTA versus los monocultivos, incluyen: uso de los residuos, minimizar el impacto sobre el bentos y la filtración de larvas de caligus (Alexander, et al., 2016a; Alexander, et al., 2016b).

Hay nuevas especies que se están proponiendo para integrar a los IMTA, como es el caso de anfípodos caprelidos por ser un grupo de especies principalmente detritívora (Guerra-García, et al., 2016). Esto indica la orientación actual a buscar especies que ayuden a mejorar la necesidad de extraer con mayor éxito la gran proporción de materia particulada. En China se ha estado trabajando con cultivos multitróficos que combinan los abalones, macroalgas y pepinos de mar (Jian-guang & Funderund, 2009). Los pepinos de mar son organismos detritívoros que se alimentan de materia orgánica acumulada en los sedimentos marinos. Esta característica lo hace un candidato interesante para ser usado en sistemas IMTA, donde se alimentan de la materia particulada que sedimenta. En Portugal, se está trabajando con el cultivo de abalón integrado con macroalgas en centros de cultivo comercial en ambientes marinos abiertos (Viera, et al., 2016). En Malasia existen trabajos con el cultivo integrado de langosta *Panulirus*, pepino de mar y macroalgas, pero en estanques basados en tierra (Sumbing, et al., 2016). También se han

publicado experiencias de co-cultivo de peces detritívoros (*Mugil cephalus*) con peces carnívoros 'seabream' (*Sparus aurata*) para evaluar la potencialidad como detritívoro y su potencial como candidato a ser incorporado a cultivos IMTA (Shpigel, et al., 2016) . También se han publicado en China experiencias de bioremediación implementando el cultivo integrado de *Gracilaria* sp y *Sparus macrocephalus* para manejar el balance de nitrógeno y fósforo en una bahía de China (Wu, et al., 2015a).

La estrategia IMTA ha sido considerada como una opción de adaptación al cambio climático (Ahmed & Glaser, 2016). La acuicultura costera en Bangladesh está dominada por el cultivo del camarón de agua dulce. Sin embargo, esta industria ha estado acompañada por recientes temores sobre el cambio climático. Considerando la vulnerabilidad a los efectos de este cambio sobre la acuicultura costera, se ha propuesto como estrategia de respuesta la adopción de la IMTA: la Acuicultura Multi-Trófica de aguas abiertas se propone como una nueva estrategia de cultivo de diferentes especies de peces y crustáceos integrados con macroalgas. De este modo, se considera la IMTA como una estrategia de adaptación al cambio climático, que podría generar beneficios económicos y ambientales.

Un reciente estudio de modelación numérica (Broch, et al., 2013) y otros de cultivo de salmones integrado con macroalgas (*Saccharina latissima*) a gran escala (Marinho, et al., 2015), confirman que las macroalgas asimilan el nitrógeno disuelto liberado del cultivo de salmones de forma muy ineficiente (menos del 1% de asimilación del N liberado) y que los nutrientes liberados del centro de cultivo de salmones contribuyen de manera no significativa al crecimiento de las macroalgas en sitios de cultivos bien agitados. En resumen:

- a.- En Sitios de cultivo ubicados en aguas abiertas y con buena hidrodinámica (velocidad promedio de la corriente  $\geq 10$  cm/s) el  $\text{NH}_3^-$  excretado por los salmones no incrementará el nitrógeno disponible a niveles de concentración que puedan estimular de manera significativa el crecimiento de las macroalgas,

b.- En áreas de cultivo ubicadas en aguas abiertas y con buena hidrodinámica las macroalgas en cultivo no serían capaces de capturar más que pequeños porcentajes del nitrógeno disuelto desde las inmediaciones de los centros de cultivo de salmones.

Los organismos depositívoros tales como erizos y pepinos de mar son más efectivos en recapturar la materia orgánica que sedimenta bajo las jaulas de cultivo de peces, pero su incorporación en IMTA de aguas abiertas está en una etapa de estudio muy temprana. Bajo condiciones de laboratorio los pepinos de mar son eficientes en convertir residuos orgánicos en biomasa (MacDonald, et al., 2013), pero se requieren más estudios de terreno para evaluar su comportamiento y eficiencia bajo condiciones naturales; por ejemplo, de acuerdo a (Hamel & Mercier, 2008) la tasa de crecimiento del pepino de mar nativo del norte de Europa *Cucumaria frondosa*, es baja.

Se ha experimentado también con el cultivo integrado de la macroalga *Gracilaria tikvahiae* con el camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei* (Samocha, et al., 2015). El estudio demostró la factibilidad técnica y biológica y el rendimiento operacional del cultivo integrado de estas dos especies, sugiriendo una recuperación de aproximadamente el 35% de la incorporación de nitrógeno por parte de las biomásas de camarones y algas.

**Análisis FODA**

<b>Impactos ECOLÓGICOS de la Acuicultura Multitrófica Integrada</b>	
<p><b>FORTALEZAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reciclamiento de nutrientes (especialmente en sistemas cerrados)</li> <li>• Reducción de demanda de alimentos provenientes de pesquerías pelágicas y cultivos terrestres</li> <li>• Mayor énfasis sobre la cuantificación de efectos ecológicos</li> <li>• Incremento de la productividad acuícola</li> <li>• Incrementos de la diversidad de productos cultivados</li> <li>• Aplicación a una variedad de ambientes (v.g. terrestres o marinos) mitigando los impactos sobre las zonas costeras cuando son instalados en tierra</li> </ul>	<p><b>DEBILIDADES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carencia de entendimiento pleno de impactos ambientales</li> <li>• Actualmente enfatiza sólo productos de alto valor y de esta manera es menos probable que contribuya a las necesidades de alimento para el mundo (excepto las macrolagas)</li> <li>• Convierte tramas alimentarias más resilientes a cadenas alimentarias más vulnerables</li> <li>• Cambia el flujo de nutrientes en los ambientes para reducir la producción natural</li> </ul>
<p><b>OPORTUNIDADES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayores toma de decisiones respaldadas por datos en el desarrollo acuícola</li> <li>• Remediación de la eutroficación antrópica</li> <li>• Si la IMTA aumenta la producción doméstica, disminuyen los costos ambientales (v.g transporte) de alientos importados</li> <li>• Plataforma de investigación en acuicultura</li> <li>• Rentabilidad potencialmente mayor comparada con los sistemas acuícolas existentes</li> <li>• Productos producidos (tales como biocombustibles basados en algas marinas) que podrían reducir los impactos ambientales de los combustibles fósiles</li> <li>• Mercados especializados para productos provenientes de IMTA</li> <li>• Colaboración entre cultivadores</li> </ul>	<p><b>AMENAZAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicaciones a mayor escala pueden tener mayores impactos ambientales y de este modo menos aceptación social</li> <li>• Productividad potencialmente más baja en comparación con los sistemas acuícolas existentes (en el corto plazo)</li> <li>• Financiamiento público no suficiente (v.g. voluntad política) para desarrollar una red de demostración y sitios de investigación para examinar la factibilidad de la IMTA</li> </ul>

<b>Impactos ECONÓMICOS de la Acuicultura Multitrófica Integrada</b>	
<p><b>FORTALEZAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia: uso de nutrientes, espacio costero</li> <li>• Ventajas de mercado</li> <li>• Nueva imagen: acuicultura costera diferenciada</li> <li>• Diversificación de productos = Producción de riesgo</li> <li>• Eficiencias operacionales: trabajo, tasas operacionales, renta</li> <li>• Oportunidades de retribución por servicios al ecosistema</li> </ul>	<p><b>DEBILIDADES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Complejidad: Mercado, operaciones, juveniles, planificación de negocios</li> <li>• Riesgo: estructural, enfermedades, operaciones, suministro de semillas</li> <li>• Criterios sitio-específicos (debido a especies múltiples): salinidad, corrientes, temperatura</li> <li>• Mayores costos de capital para la puesta en marcha</li> <li>• Complejidad regulatoria</li> </ul>
<p><b>OPORTUNIDADES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mercados: precios, aumento de productos con mayor valor agregado, envases, oportunidades de nicho</li> <li>• Imagen sustentable</li> <li>• Servicios al ecosistema, ingresos potenciales</li> <li>• Plataforma de desarrollo: nuevos productos, innovaciones de cultivo, alimento, macroalgas, investigación</li> <li>• Uso del IMTA como plataforma de lanzamiento para una visión nacional de la acuicultura</li> <li>• Innovación potencial acelerada</li> <li>• Adaptabilidad (v.g. cambios climáticos)</li> <li>• Nuevos socios</li> </ul>	<p><b>AMENAZAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceptación social, percepción pública</li> <li>• Amenazas naturales: enfermedades, parásitos, tormentas</li> <li>• Decepción de expectativas: las fallas podrían repercutir en forma negativa sobre todo el esfuerzo</li> <li>• Amenazas de mercado: sobreproducción, ciclos de precios</li> <li>• Competencia de parte del monocultivo</li> <li>• Imitación barata de IMTA</li> <li>• Mayores requerimientos regulatorios</li> <li>• Nuevos usuarios en competencia.</li> </ul>

<b>Impactos SOCIALES de la Acuicultura Multitrófica Integrada</b>	
<p><b>FORTALEZAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fortaleza de marca/Eco-negocios</li> <li>• Diversificación de especies</li> <li>• Oportunidades de negocios (nicho)</li> <li>• Precepción visual de las operaciones de acuicultura</li> <li>• Oportunidades educacionales</li> <li>• Ecológicamente saludable</li> <li>• Alimentos saludables (proteínas, Omega-3)</li> <li>• Operación escalable</li> <li>• Industria joven – nuevo modelo</li> <li>• Comercio/trabajo/salarios dignos</li> <li>• Negocio gratificante</li> <li>• Descubrimiento científico</li> <li>• Preservación de muelles de trabajo</li> <li>• Mejoramiento de las condiciones ambientales</li> <li>• Suministro de servicios ecosistémicos</li> <li>• Producción durante todo el año, especies múltiples</li> <li>• Ingresos por arrendamiento</li> <li>• Buena administración</li> </ul>	<p><b>DEBILIDADES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Percepción visual de las operaciones de acuicultura</li> <li>• Temor a lo desconocido</li> <li>• Malos ejemplos/fracasos podrían alterar la percepción global</li> <li>• Industria joven</li> <li>• Complejidad</li> <li>• Conflictos de uso (v.g., agua, espacio)</li> <li>• Carencia de masa crítica</li> <li>• Escala/Intensidad de capital</li> <li>• Potencial para degradar el monocultivo</li> <li>• Puede ser mayor la privatización de recursos públicos</li> <li>• Viabilidad económica</li> <li>• Mayor impacto en la vida silvestre y percepción pública de ello</li> </ul>
<p><b>OPORTUNIDADES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conciencia social</li> <li>• Compra local</li> <li>• Nichos</li> <li>• Aumento del suministro de alimentos sanos</li> <li>• Aumento de la colaboración</li> <li>• Trayectoria de educación</li> <li>• Optimizar la carga de nutrientes</li> <li>• Trabajos de la industria de servicios</li> <li>• Turismo basado en la eco-alimentación</li> <li>• Diseño regulatorio</li> <li>• Ambiente de Control (acceso al mercado)</li> <li>• Mejoramiento tecnológico</li> <li>• Oportunidades de cultivo de especies ecológicamente responsables</li> </ul>	<p><b>AMENAZAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Competencias en el mercado</li> <li>• Degradación ambiental</li> <li>• Desarrollo del borde costero</li> <li>• Conflictos/espacios de los usuarios</li> <li>• Financiamiento</li> <li>• Regulación o carencia de ello</li> <li>• Respuesta negativa al sello, “producido en cultivos”</li> <li>• Mensajes no controlados (i.e., en internet)</li> <li>• Desinformación</li> <li>• Carencia de planificación espacial marina</li> </ul>

**3.2.- Objetivo 2.- Implementar un sistema experimental de cultivos multitróficos en donde se asocie a un cultivo de salmónidos uno de moluscos filtradores y uno de macroalgas, corroborando las interacciones, los impactos ambientales, identificando la capacidad de remoción de nutrientes del cultivo de salmónidos y estimando costos de dicha implementación experimental.**

### **3.2.1.- Gestión con empresas salmoneras**

#### **3.2.1.1.- Selección del centro de cultivo de salmones**

Como resultado de la gestión con cuatro empresas de cultivo de salmón de la zona sur, se obtuvo el apoyo de la empresa **Salmones Austral Spa**.

Se contactó a cuatro empresas cultivadoras de salmón: Multiexport, Marine Harvest, Salmones Austral y Camanchaca.

**a.- Salmones Multiexport:** Con esta empresa se tomó contacto por primera vez durante la elaboración de la propuesta (se reportó en el primer Informe el resultado de dicha gestión).

Luego, el 30 de junio de 2015, se contactó telefónicamente y se envió solicitud por correo electrónico a Francisco Lobos, Gerente de Concesiones, Medio Ambiente y Certificaciones de Multiexport Foods, anexando información técnica de los experimentos. Después de insistir el 28 de julio de 2015, finalmente no se obtuvo respuesta (Anexo III).

#### **b.- Marine Harvest:**

Se inició gestiones el 30 de marzo de 2015 con Berta Contreras, gerente de Asuntos Corporativos de Marine Harvest Chile (Se adjunta correo en Anexo IV).

El 21 de abril tomamos contacto con Eduardo Jara, Analista Técnico de Marine Harvest, a quien encargaron evaluar nuestra solicitud (Anexo V). A petición de Marine Harvest, se le envió una presentación de 4 diapositivas que incluían los siguientes temas (Anexo VI):

- 1) Fundamento técnico del proyecto
- 2) Objetivos

3) Metodología a emplear

4) Que esperamos de la empresa Marine Harvest

También se le hizo llegar a la empresa una carta de presentación del proyecto emitida por Subpesca (Anexo VII).

Después de varias conversaciones, el 08 de julio la empresa Marine Harvest ofreció el **Centro Experimental Huenquillahue** (Anexo VIII), ubicado a 20 km de Pto Montt, de 24 jaulas con 500 peces c/u y una biomasa estimada al 30 de diciembre de 15 ton (peso promedio=1,2 kg). Profundidad superior a 60 m (Anexo IX).

El 28 de julio se solicitó reevaluar un nuevo centro que cumpliera con las características productivas exigidas por el TTR (Categoría 3), puesto que después de evaluar con el equipo de investigadores del proyecto la oferta del Centro Huenquillahue, se consideró que no permitiría disponer de una carga de nutrientes adecuada para detectar diferencias en las respuestas de los organismos filtradores y macroalgas (Anexo X).

Finalmente, el 03 de agosto de 2015 la empresa Marine Harvest comunicó que, dada su actual programa productivo, no disponían para este año de centros de cultivo de salmones de las características requeridas por el proyecto (Anexo XI).

**c.- Salmones Camanchaca.** Se tomó contacto por primera vez con esta empresa el 29 de mayo de 2015 a través de su Jefe de Medio Ambiente, Andrés Bórquez. El 30 de julio, el Departamento de Medio Ambiente de esta empresa nos solicitó una reunión para discutir la posibilidad de realizar los experimentos en el centro de cultivo de salmones Mañihueico, ubicado en la zona de Hornopirén (Anexo XII). Nos comenzamos a reunir y contestar consultas sobre el proyecto desde el 03 de agosto. En estas conversaciones participó Omar Cisternas, Gerente de Producción de Agua de Mar, Patricio Daza, Subgerente de Producción de Agua de Mar, Leonel Godoy, Subgerente de Producción, más los profesionales del Departamento de Medio Ambiente de la empresa: Andrés Bórquez y José Carroza. Finalmente, el 28 de septiembre la Gerencia General no aprobó la idea de realizar los experimentos en el Centro de Cultivo Mañihueico (Anexo XIII).

**d.- Salmones Austral Spa.** Las gestiones con esta empresa se iniciaron el 30 de julio y el 07 de agosto se realizó una reunión con su Gerente Técnico, Andrés Rosa. El 11 de agosto se autorizó por parte de la Gerencia General la realización de los experimentos de cultivo multitrófico. El sitio de cultivo facilitado es el Centro Tenaún (Anexo XIV).

El 14 de agosto se envió solicitud de aprobación por parte del FIPA-Subpesca del Centro Tenaún (Anexo XV)

Las características del Centro de Cultivo de salmones Tenaún, son las siguientes:

- Empresa: **Salmones Austral Spa.**
- Centro de Cultivo: **Noreste Punta Tenaun**
- Solicitud Concesión de Acuicultura N°203 103 129 (**Cód. Centro N°103824**)
- Especie: **Salmón del Atlántico (*Salmo salar*)**
- Fecha de ingreso de smolt: **Julio-Agosto de 2014**
- Número de peces ingresados: **960.000**
- Peso promedio inicial: **148 g.**
- Fecha programada de cosecha: **Diciembre de 2015**
- Biomasa estimada a cosecha: **3.240 toneladas**
- Número de jaulas y tamaño: **16 jaulas de 30x30.**
- Profundidad: **<60 m**
- Tipo fondo: **Blando**
- Categoría de Centro: **3**
- Velocidad Promedio de la Corriente (4-10 m): **15 cm/s**
- A.- Selección del centro de cultivo de salmones

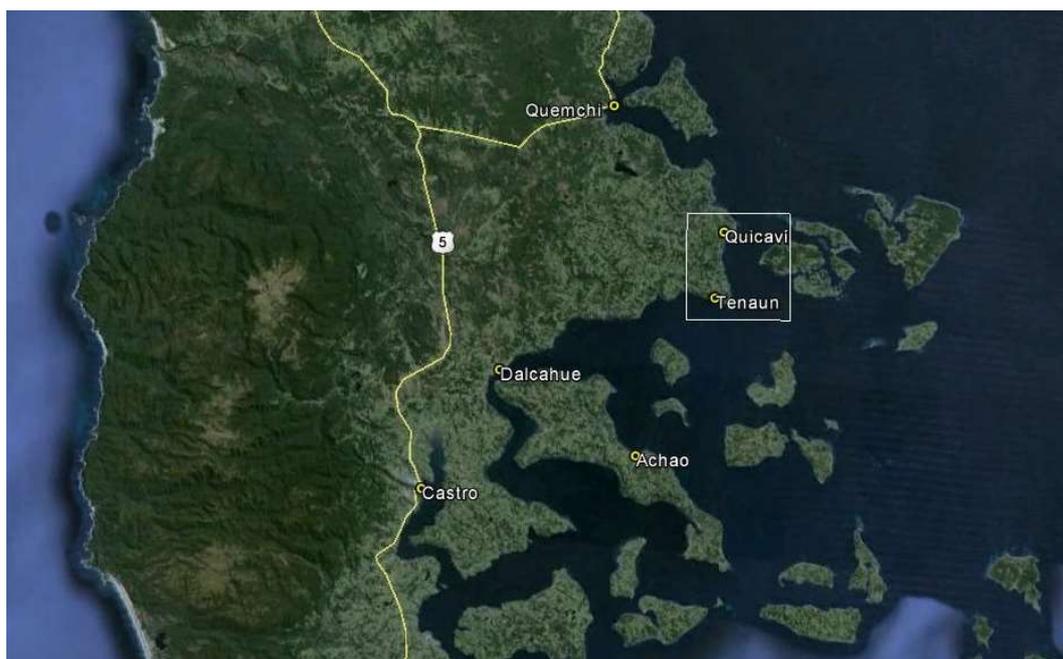
### 3.2.1.2.- Centro de Cultivo de Salmones seleccionado para los experimentos IMTA

El Centro de Cultivo Tenaún está ubicado en el Canal Quicaví, al NE de la Punta Tenaún, cuyas coordenadas de referencia son Lat. 42° 19' 11,16" S. Long 73° 21' 03,76" W., en la costa de la Isla Grande de Chiloé, entre las localidades de Dalcahue y Quemchi (Figura 18).

Las coordenadas son las siguientes:

Vértices	Latitud S	Longitud W	Lado	Distancia (m)
A	42° 19' 11,16"	73° 21' 03,76"	A-B	165
B	42° 19' 11,06"	73° 20' 56,55"	B-C	210
C	42° 19' 17,67"	73° 20' 58,69"	C-D	112
D	42° 19' 17,74"	73° 21' 03,58"	D-A	203
PTO. REF.	42° 19' 19,71"	73° 21' 11,21"		

Coordenadas SHOA WGS 84.

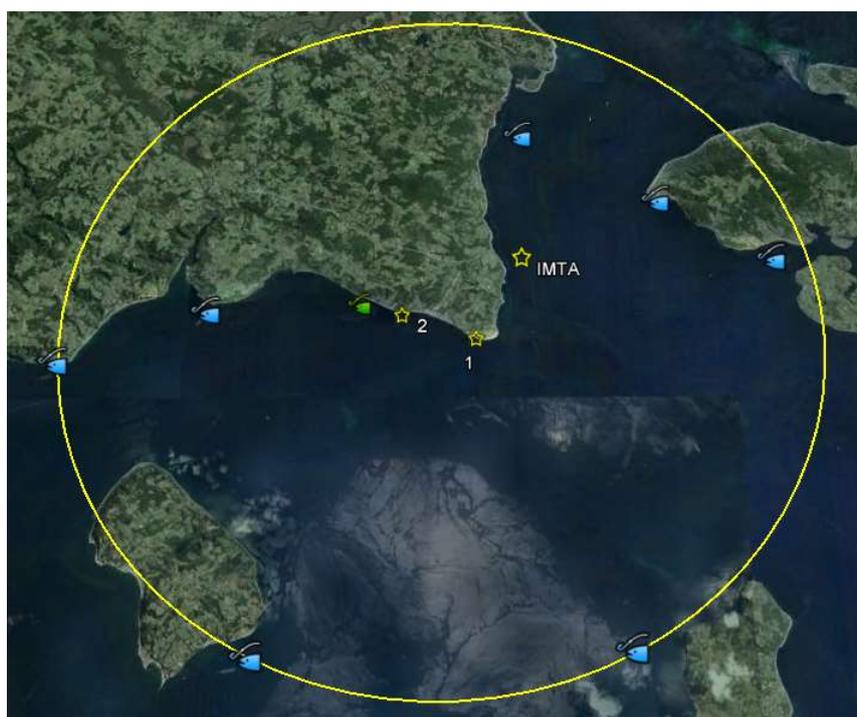


**Figura 18.** Vista general de la zona donde se realizarán las experiencias de cultivo integrado.

### 3.2.2.1.- Caracterización preliminar del área experimental

El centro de cultivo de salmones Tenaún (experimentos IMTA) y los sitios elegidos para hacer los experimentos controles, están bajo la influencia potencial de ocho sitios de cultivo de salmónidos a una distancia aproximada de 8 km (Figura 19). De acuerdo a los análisis preliminares de información de corrientes y descripciones de pescadores artesanales y profesionales de los centros de cultivo de salmones y choritos, serían sólo tres las actividades de cultivo de salmones que influyen el sitio autorizado para los experimentos. El sitio de cultivo indicado con un símbolo-peze de color verde (Figura 19), corresponde a un sitio de cultivo en descanso y que, según información de la empresa Holding, comenzarían a sembrar smolt en noviembre.

En base a esta información preliminar más datos de corrientes del área, se acordó por parte del equipo de trabajo, instalar dos conjuntos de experimentos controles (Figura 19).



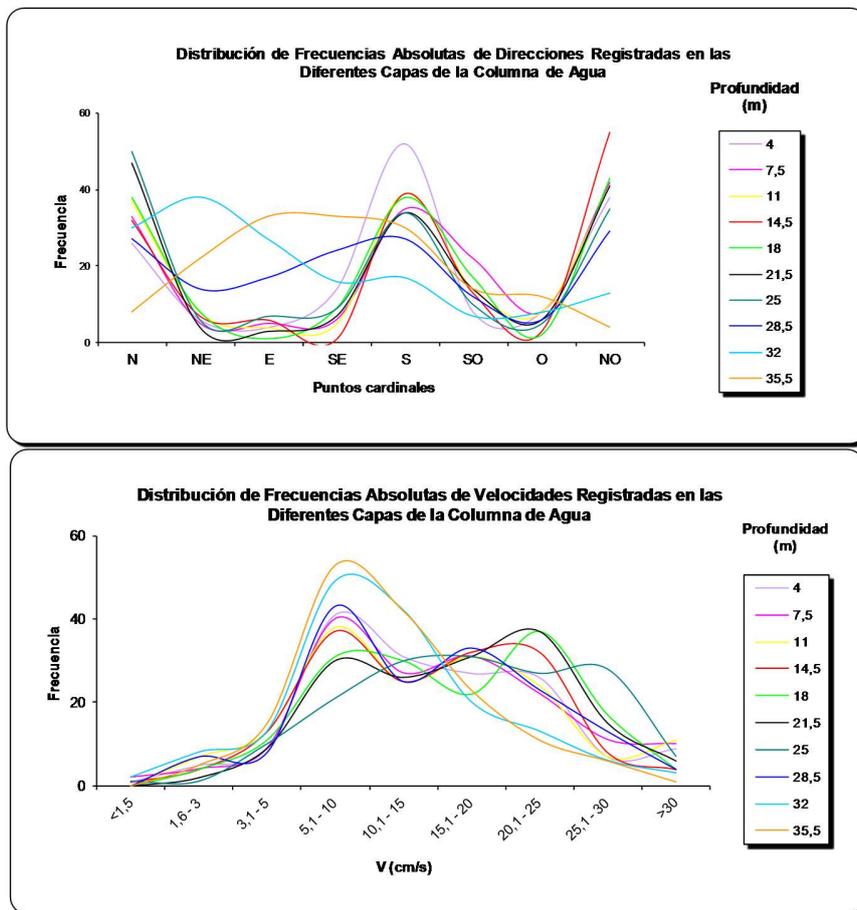
**Figura 19.** Ubicación del Centro de Cultivo de salmones Tenaún (estrella amarilla IMTA) y los Controles 1 y 2 (estrellas amarillas 1 y 2), en relación con otros sitios de cultivo de salmones (símbolos-peze azul y verde) en un área circular de 8 km.

### 3.2.2.2.- Estudio oceanográfico preliminar del sitio elegido

Se analizó datos de corrientes de los centros de cultivo de salmones y choritos que operan en el área de estudio y del centro de cultivo experimental, y se observa un movimiento de las aguas en una dirección predominantemente al sur.

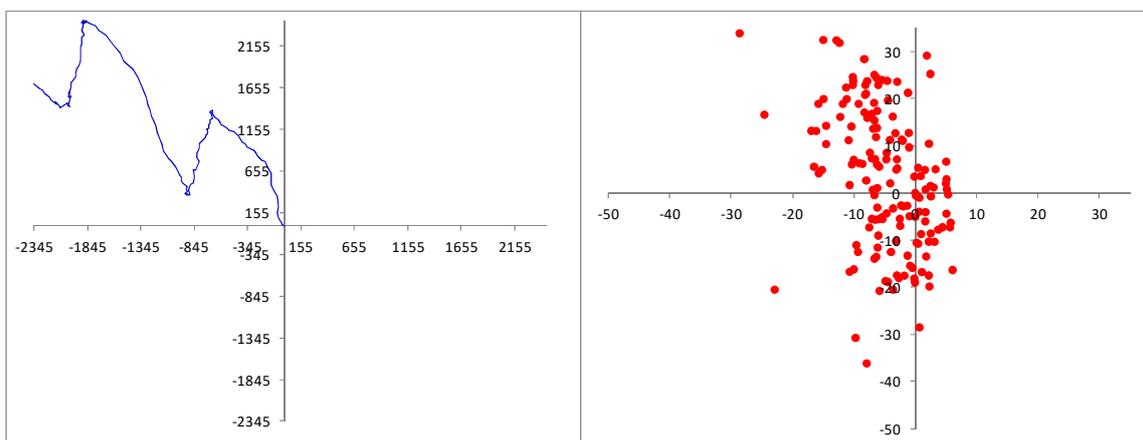
#### a.- Correntometría en Centro Tenaún (Centro Experimental)

En base al análisis de datos de correntometría registrado por la empresa Salmones Austral, se observa que la corriente tiene un movimiento predominante en el eje S-N con velocidades promedio de 15 cm/s (Figura 20). Esta tendencia se observa aproximadamente similar para todos los perfiles evaluados.



**Figura 20.** Distribución de frecuencias absolutas de direcciones (arriba) y velocidades (abajo) registradas en las diferentes capas de la columna de agua en Centro Tenaún. Datos registrados entre el 28 y 29 de agosto de 2005 entre las 18:45 - 08:40 hr. Mareas de cuadratura.

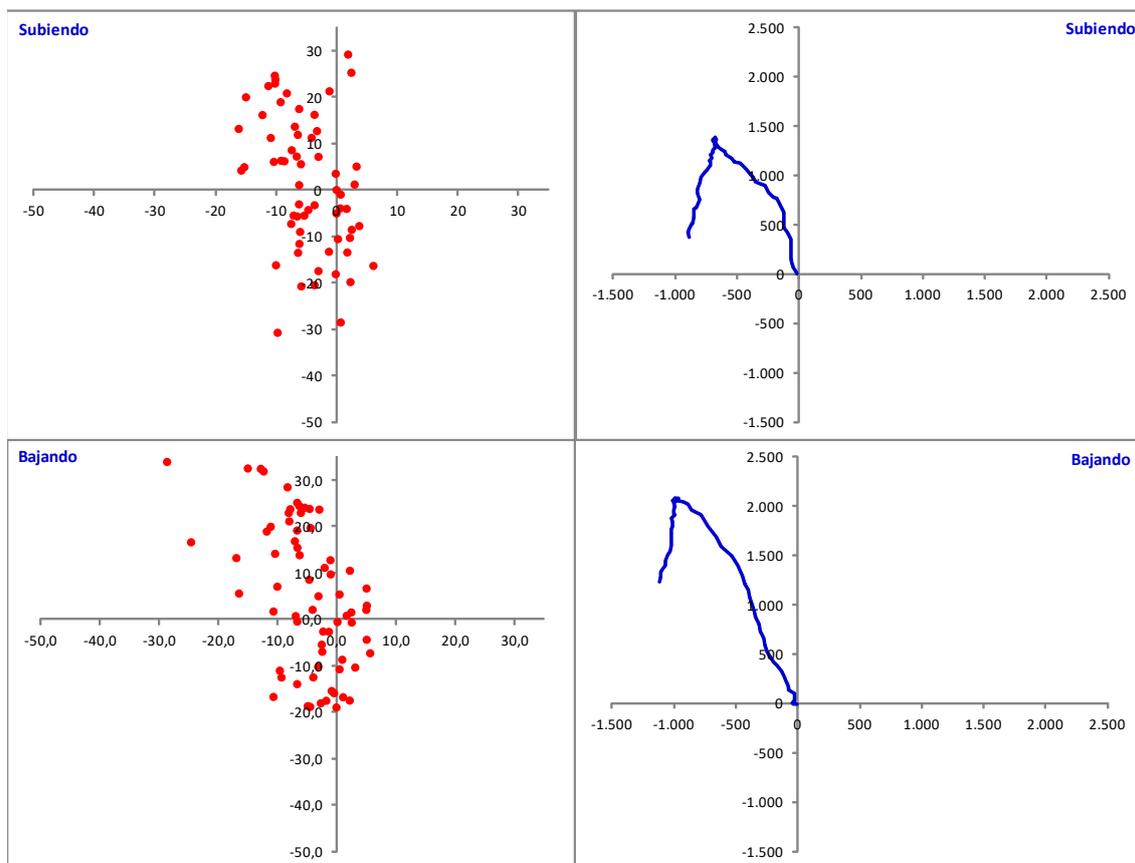
El vector progresivo de la corriente registrada a los 7,5 m, indica que la corriente tiene un desplazamiento promedio hacia el Noroeste con fluctuaciones aproximadas en el eje N-S (Figura 21, izquierda). La magnitud y dirección de la corriente durante todo el periodo de registro, indica más claramente la fluctuación N-S de la corriente (Figura 21, derecha).



**Figura 21.** Distribución de corrientes en Centro Tenaún. Izquierda, vector progresivo. Derecha, registro de magnitud y dirección. Profundidad del perfil: 7,5 m.

Se esperaría que la corriente tuviera una dirección definida durante el periodo de marea llenante y otra dirección distinta durante la marea vaciante. Sin embargo, al analizar la información de corrientes para el perfil de 7,5 m, se observa claramente que la dirección de la corriente comienza a desplazarse hacia el norte al inicio de la llenante y luego cambia hacia el sur. Situación similar se observa con la vaciante: el agua se desplaza hacia el norte al inicio y luego cambia el rumbo hacia el sur (Figura 22). Sin embargo, el desplazamiento de la corriente ocurre a lo largo del eje N-S según lo indica el gráfico de magnitud y dirección (Figura 22, izquierda).

De acuerdo a este análisis preliminar del comportamiento de las corrientes en el Centro Tenaún, la instalación de las líneas de chorito y macroalgas se podría hacer tanto en las cabeceras sur como en la norte del centro de cultivo de salmones. Como se verá más adelante, el comportamiento de la corriente es algo diferente con mareas de Sicigia.

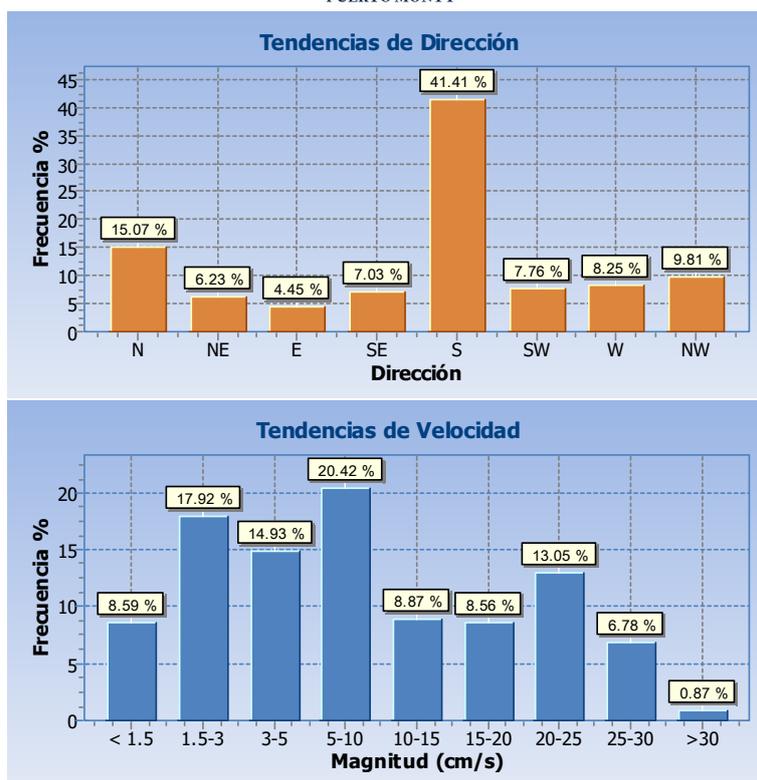


**Figura 22.** Distribución de corrientes en Centro Tenaún. Izquierda arriba (marea subiendo) y abajo (marea bajando): magnitud y dirección. Derecha arriba (marea subiendo) y derecha abajo (marea bajando) vector progresivo. Profundidad del perfil: 7,5 m.

**b.- Correntometría en Centro de cultivo de salmones Punta Huechuque (Mainstream) al norte del Centro Tenaún (experimento IMTA)**

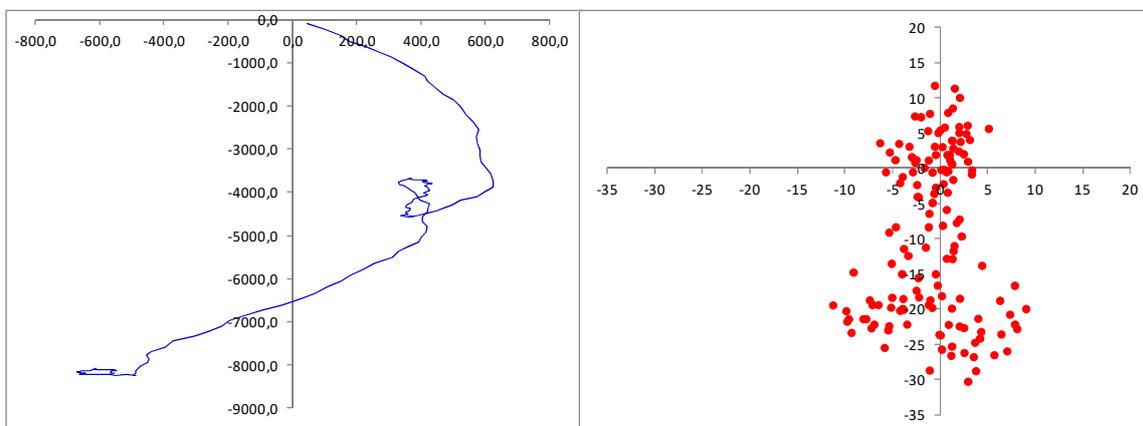
Se obtuvo una base de datos de correntometría del centro de cultivo de salmones Punta Huechuque de la empresa Mainstream, ubicada a aproximadamente 3 mil metros al norte del centro Tenaún (experimento IMTA) (Figura 23).

Se observa que la corriente tiene un movimiento predominante hacia el sur con una velocidad promedio general de 12 cm/s (Figura 23). Esta tendencia es aproximadamente similar para todos los perfiles evaluados.



**Figura 23.** Distribución de frecuencias absolutas de direcciones (arriba) y velocidades (abajo) registradas en 20 capas desde los 0-40 m de la columna de agua en Centro Punta Huechuque. Datos registrados entre el 02 a las 18:43 hr y el 03 de octubre de 2011 a las 18:43 hr. Mareas de cuadratura.

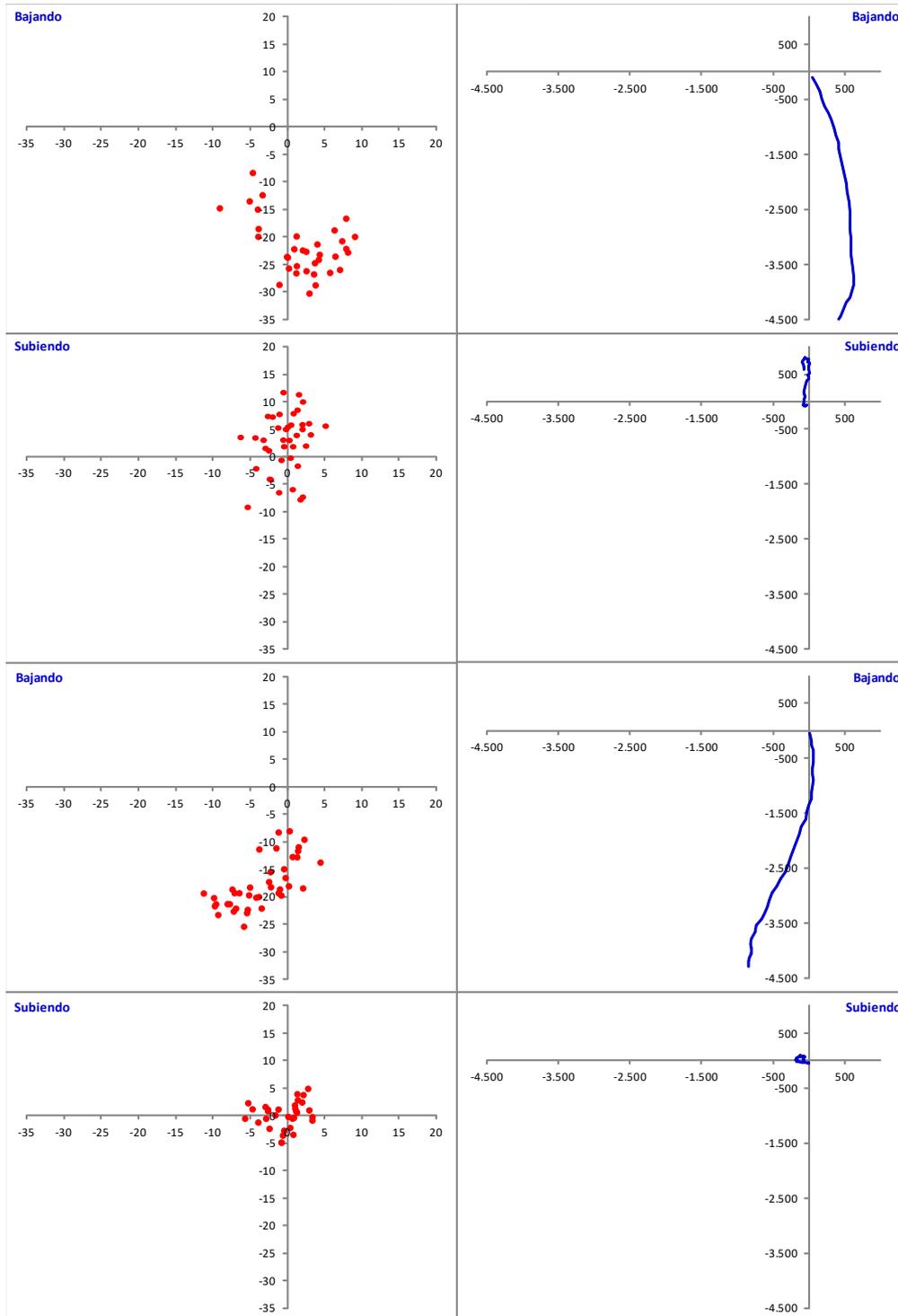
El vector progresivo de la corriente registrada a los 6,0 m, indica que la corriente tiene un desplazamiento promedio hacia el sur (Figura 24, izquierda). La magnitud y dirección de la corriente durante todo el periodo de registro, indica más claramente la fluctuación N-S de la corriente (Figura 24, derecha).



**Figura 24.** Distribución de corrientes en Centro Punta Huechuque. Izquierda, vector progresivo. Derecha, registro de magnitud y dirección. Profundidad del perfil: 6 m.

En este caso se observa un cambio de dirección y magnitud de la corriente con el cambio de la marea (llenante o vaciante) (Figura 25, derecha). La dirección de la corriente es claramente hacia el sur cuando la marea está en su fase vaciante y su magnitud es mayor que cuando la marea está en su fase llenante (Figura 25, izquierda).

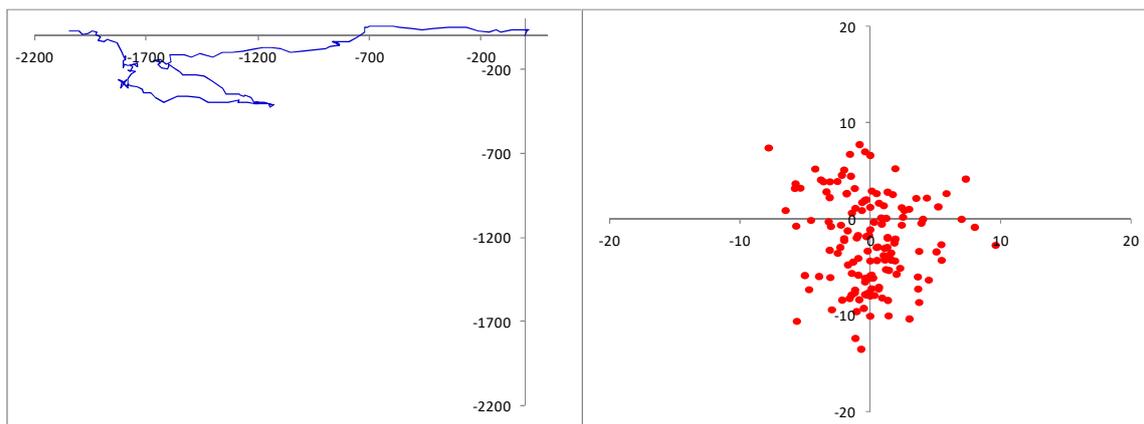
De acuerdo a este análisis preliminar del comportamiento de las corrientes en el Centro Huechuque, los nutrientes liberados en este centro de cultivo deberían tener alguna influencia en el centro de cultivo Tenaún ubicado 3 mil m más al sur. Lo mismo podría ocurrir sobre los experimentos controles ubicados a 2.700 y 4.500 m más al sur.



**Figura 25.** Distribución de corrientes en Centro Punta Huechuque. Izquierda magnitud y dirección Derecha vector progresivo. Profundidad del perfil: 6 m. Se indica estado de la marea (subiendo o bajando).

**c.- Correntometría en el área de Punta Calén, 5,0 km al sur del Centro Tenaún**

La velocidad promedio de la corriente en la zona de Punta Calén, aproximadamente 5 km al oeste del área de los experimentos control es de 6,7 cm/s a 6 m de profundidad. La dirección de la masa de agua presentó un desplazamiento general hacia el oeste (Figura 26)



**Figura 16** Distribución de corriente en el sector de Punta Calén. Izquierda, vector progresivo. Derecha, magnitud y dirección. Profundidad del perfil: 6 m.

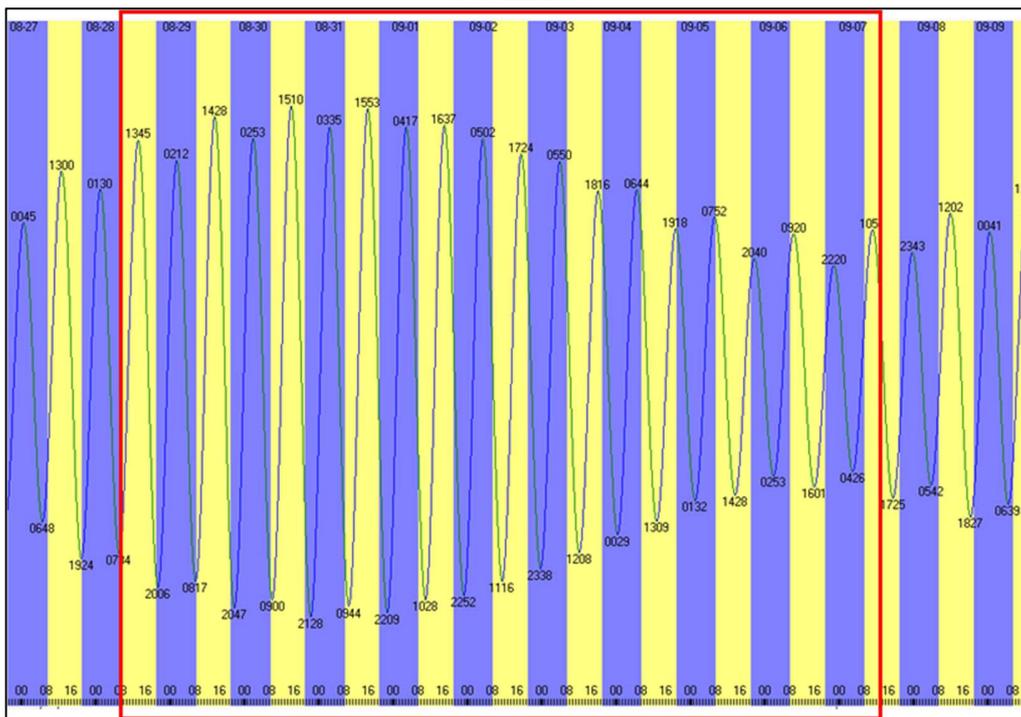
De acuerdo a esta información, al sur del área de estudio IMTA se esperarían corrientes predominantes a lo largo del eje del canal Quicaví con una tendencia de alejamiento de la zona de experimentos controles.

### 3.2.1.5.- Estudios de hidrodinámica de mareas Sicigia y Cuadratura

Para el cumplimiento de esta actividad, se fondeo un correntómetro a 6 m de profundidad en la cabecera del centro de cultivo Tenaún (Figura 27). Se registró la corriente desde el 29 de agosto a las 10:30 hr hasta el 07 de septiembre a las 17:20 hr, cubriendo un periodo de sicigias y otro de cuadratura (Figura 28).



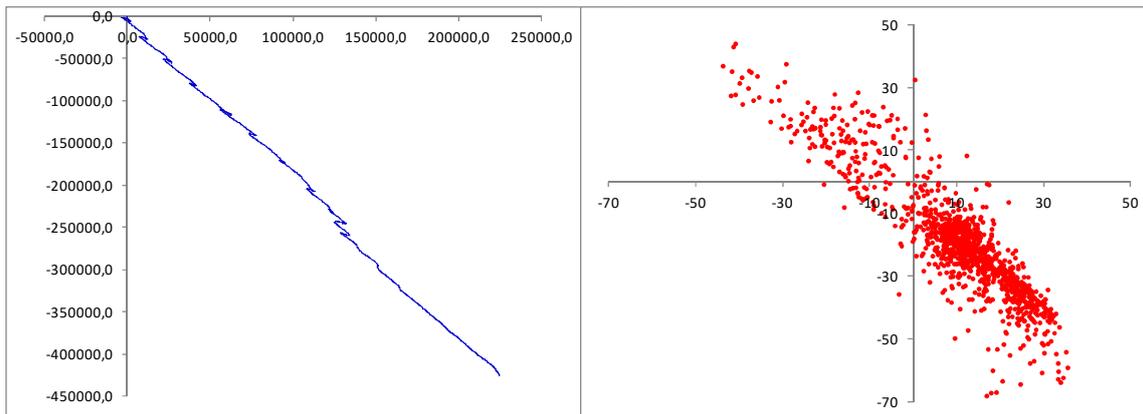
**Figura 17.** Ubicación del correntómetro en el módulo de cultivo del centro Tenaún.



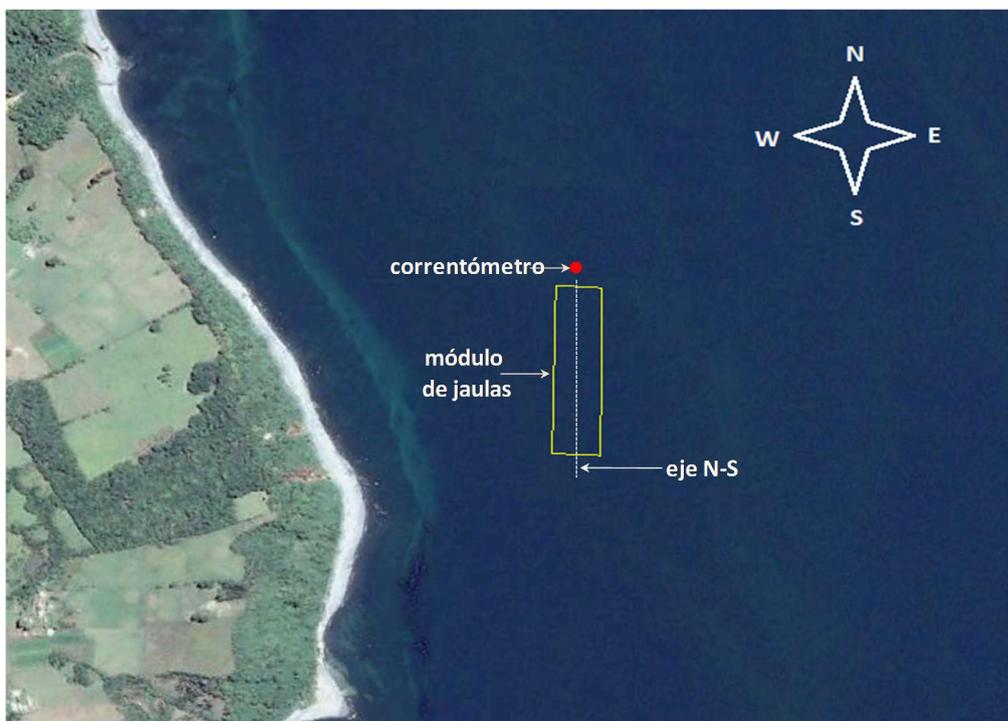
**Figura 28.** Ciclo de mareas durante el registro de corrientes entre el 29 de agosto a las 10:30 hr y el 07 de septiembre a las 17:20 hr (recuadro rojo).

### 3.2.1.6.- Resultados de la correntometría Euleriana.

De acuerdo al vector progresivo que describe el desplazamiento medio de la masa de agua que pasa por la cabecera norte del módulo de cultivo del centro Tenaún (Figura 29, izquierda), la corriente tiene una dirección de desplazamiento promedio hacia el sureste con pequeñas fluctuaciones de regreso hacia el noroeste. La gráfica de la magnitud y dirección de las corrientes durante todo el periodo analizado, muestra que las corrientes se orientan en el eje NW-SE, en un ángulo de  $45^\circ$  al eje del módulo de jaulas de cultivo (Figura 30). Las magnitudes y el número de registros hacia el sureste son mayores que para el eje contrario (Figura 29, derecha).



**Figura 29.** Distribución de corrientes en Centro Tenaún. Izquierda, vector progresivo. Derecha, registro de magnitud y dirección. Profundidad del perfil: 6 m.



**Figura 30.** Orientación de módulo de jaulas del centro Tenaún en relación al eje Norte-Sur.

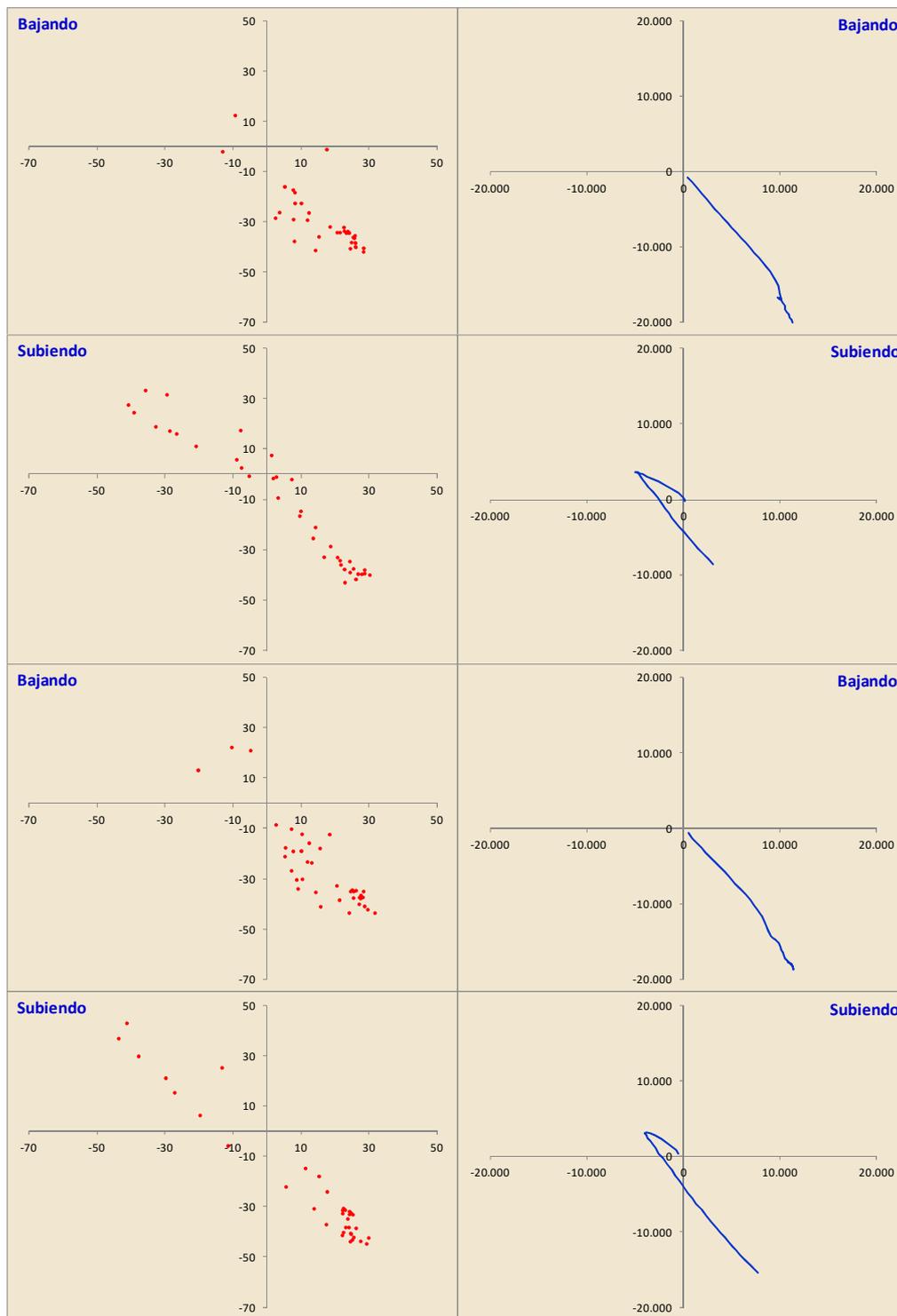
El análisis del vector progresivo y la magnitud y dirección de las corrientes en función de cada uno de los ciclos de llenante o vaciante de las mareas, indica más claramente que tanto en llenante como vaciante la dirección de la corriente es predominantemente hacia el sureste (Figura 31 y 32). Se observa sólo en llenante un ligero cambio de dirección hacia el noroeste pero sólo durante un tercio o menos del tiempo que dura la marea (2 de 6

horas). Este patrón desaparece durante el periodo de cuadratura (Figura 32), donde la dirección de la corriente no responde al cambio de mareas.

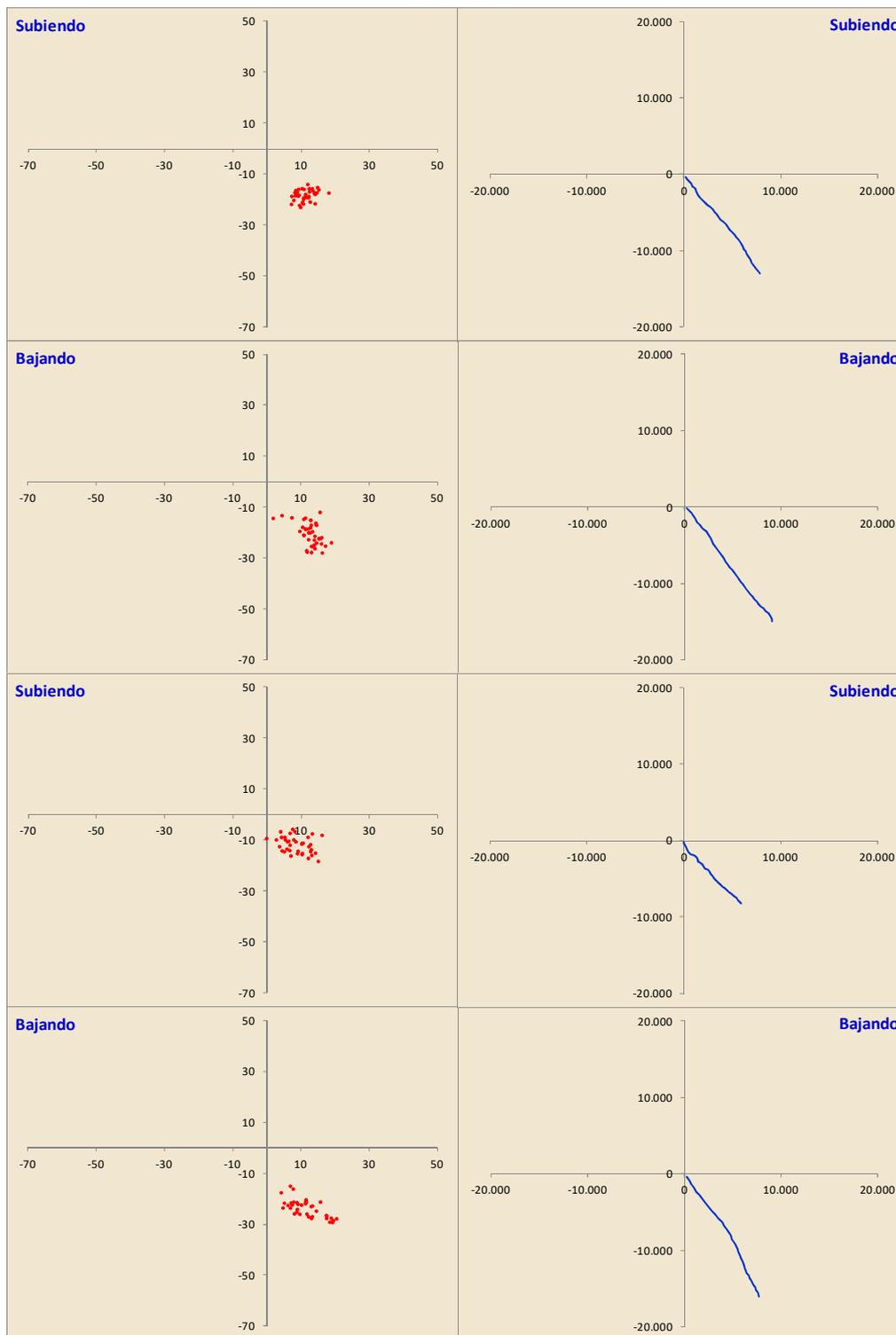
Es necesario destacar que el patrón anterior refleja el comportamiento de la corriente en el sector abierto al norte. En la parte sur del módulo no se midió la corriente, pero de acuerdo a observaciones realizadas durante la instalación de los cultivos experimentales, el patrón de corriente es similar aunque su velocidad es algo menor. Este patrón será descrito con los estudios lagrangianos de corrientes mediante el lanzamiento simultáneo de derivadores en ambos extremos del módulo.

Los lanzamientos preliminares de derivadores en la parte sur del centro Tenaún confirman este patrón de corrientes. Una vez finalizado los estudios con derivadores se tendrá una descripción más precisa de las corrientes alrededor del módulo de cultivo y su influencia sobre las zonas donde se instalaron los experimentos controles.

Como una forma de apoyar la toma de decisión para la instalación de las líneas de cultivo de choritos y macroalgas en torno al centro de cultivo de salmónes y los experimentos controles, se propone un modelo de circulación de corrientes en la zona de trabajo (Figura 33).



**Figura 31.** Distribución de corrientes en Centro Tenaún durante un periodo de **Sicigia**. Izquierda, magnitud y dirección. Derecha, vector progresivo. Profundidad del perfil: 6 m. Se indica estado de la marea (subiendo o bajando).



**Figura 32.** Distribución de corrientes en Centro Tenaún durante un periodo de **Cuadratura**. Izquierda magnitud y dirección. Derecha: vector progresivo. Profundidad del perfil: 6 m. Se indica estado de la marea (subiendo o bajando).



**Figura 33.** Modelo de comportamiento de las corrientes en torno al Centro de Cultivo de salmónes Tenaún y los sitios de Control 1 y 2.

### **3.2.1.7.- Instalación de sistemas de cultivo**

La propuesta final de ubicación del cultivo de choritos y macroalgas, se tomó en base a la información general de la dinámica de las corrientes en la zona, presencia de otros centros de cultivo de salmones y choritos y las restricciones impuestas por la empresa Salmones Austral, para no alterar ni interferir la operación del centro.

#### **3.2.1.7.1.-- Implementación de experimentos Multitróficos asociados al cultivo de salmones**

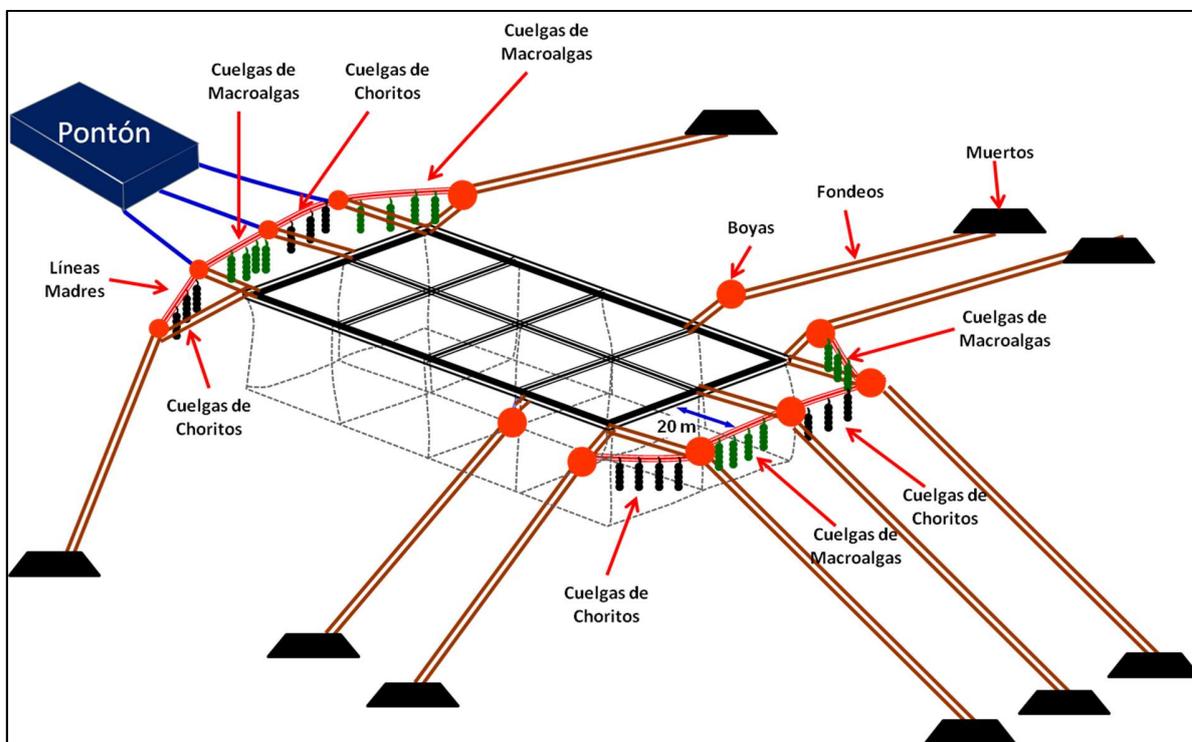
De acuerdo a los resultados de corrientes históricas y actuales, las líneas de choritos y macroalgas se deben instalar en la cabecera sur del módulo de cultivo.

La zona más despejada y que menos problemas implicaba para la operación de la empresa, era la zona o cabecera norte del módulo. Sin embargo, el desplazamiento de las masas de agua hacia el sur no garantizaba que los choritos y macroalgas recibieran un volumen significativo de nutrientes generados por los salmones.

La instalación al lado sur, donde se recibe el mayor volumen de agua proveniente de las jaulas de salmones, sólo era posible a más de 110 m de las jaulas. El pontón de alimentación se encuentra a una distancia de entre 70 a 90 m del módulo y había que dejar un área de operación de los barcos abastecedores de alimento y otras operaciones propias del cultivo de salmones.

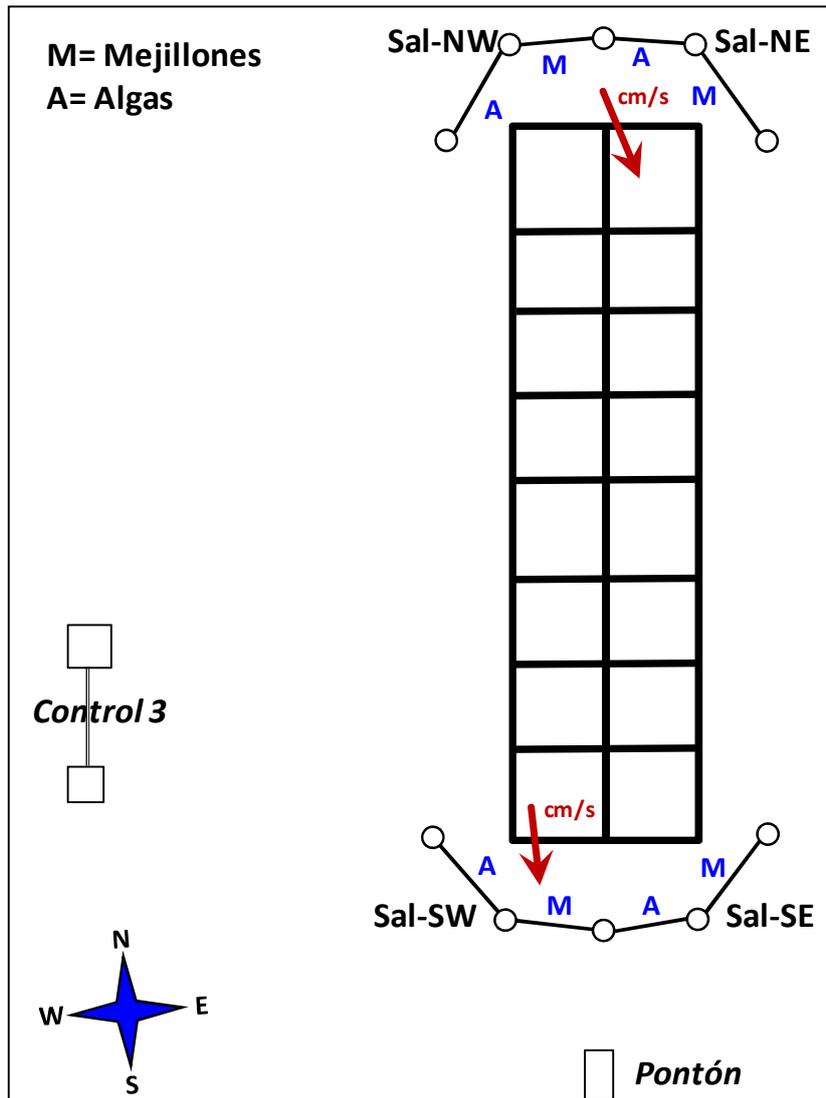
Finalmente, se autorizó por parte de la empresa nuestra propuesta de instalar las líneas de cultivo entre las boyas de fondeo de las cabeceras norte y sur, según se muestra en la Figura 34. Con esta configuración, se dispuso de 4 sectores con espacio de 30 m entre las boyas autorizadas, tanto en la cabecera sur como la norte del módulo, donde se instalaron las líneas madres de 25 m de largo y todas a 20 m del límite del módulo de cultivo: Sobre estas líneas madres (long-lines) se instalaron las respectivas cuelgas experimentales de choritos y las mallas y líneas experimentales de cultivos de macroalgas. En el costado oeste de la concesión, entre dos bodegas, a 150 m del módulo de salmones, se instaló otra línea madre de 25 m con cultivos experimentales de macroalgas para evaluar la potencial

influencia lateral de los nutrientes provenientes del módulo salmonero. Se le denominó Control 3.



**Figura 34.** Diseño general esquemático del experimento de cultivo multitrofico en el centro de cultivo en la empresa Salmones Austral, Tenaún. Se muestra la posición de las líneas de cultivo de mitilidos y macroalgas en relación con la orientación del módulo de cultivo. El módulo de cultivos se orienta en la dirección de las corrientes predominantes. El módulo de salmónes tiene 16 jaulas de 30x30 m.

En resumen, se instaló ocho líneas madres de 25 m de largo cada una, entre las boyas de fondeo de los pasillos laterales y central de las cabeceras norte y sur del módulo de cultivo de salmón (Figura 35). Las cuelgas de choritos y macroalgas se instalaron en forma intercalada. Se les denominó “Líneas Experimentales de Choritos o Macroalgas Sal-SW, Sal-SE, Sal-NW y Sal-NE”. También se instaló una línea madre entre las bodegas ubicadas a 150 m al costado del módulo; se le denominó Control 3.



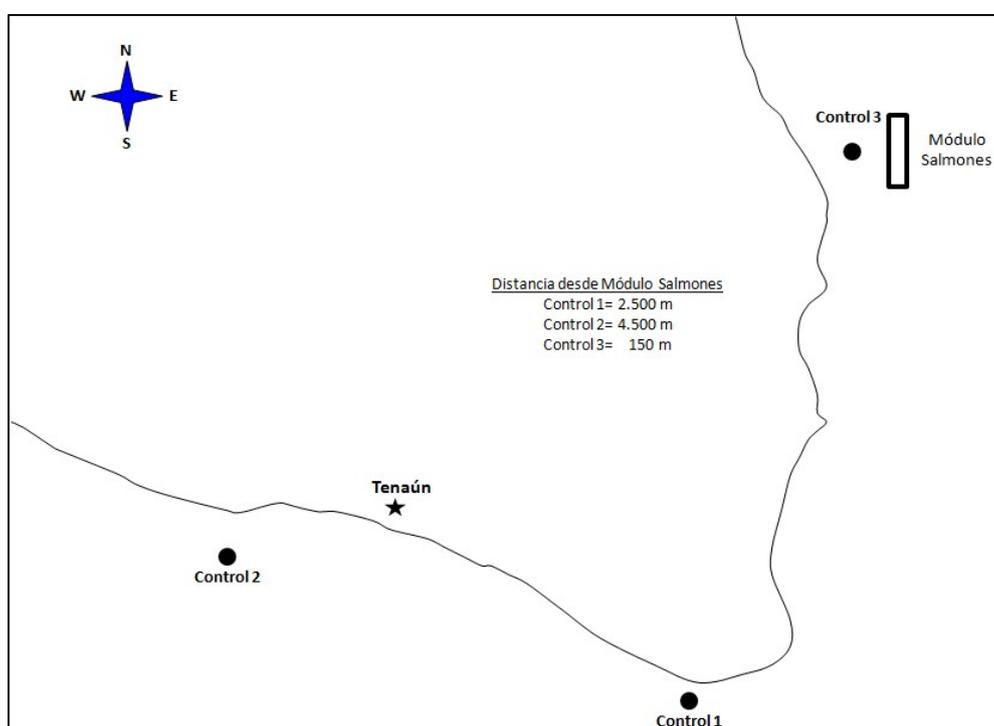
**Figura 35.-** Ubicación de líneas experimentales de algas alrededor del módulo de cultivo de salmón. Las flechas indican la dirección predominante de la corriente.

### 3.2.1.7.2.- Experimentos Control

La selección de los Sitios Control se analizó más arriba, pero básicamente, y en función de la información preliminar, tanto histórica como reciente, se estima que son las zonas que tendrán la menor influencia de los nutrientes generados por el Centro Tenaún, como de los centro de salmones que los rodean (Figura 36).

En general, en la zona de Tenaún hay menor actividad de cultivo, tanto de choritos como de salmones, en comparación con lo observado en la zona de Dalcahue más al sur, Quemchi al norte, las islas Chauques al noreste y el grupo de las Lin-Lin, Llingua y Meulín al sur.

El centro de cultivo de salmones ubicado al lado oeste del Control N°2 (Figura 33) se encontraba inactivo al inicio de los experimentos y se comenzó a sembrar con smolt en diciembre de 2015.



**Figura 36.** Ubicación general de experimentos en el módulo de cultivo de salmón de la empresa Salmones Austral y experimentos control.

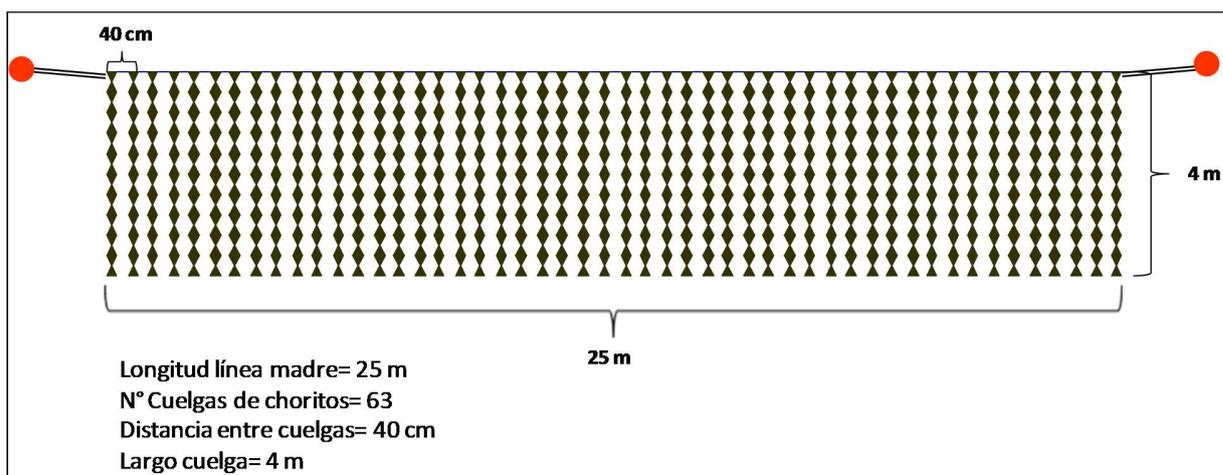
Las cuelgas de choritos y macroalgas para los sitios Control fueron instaladas según los mismos procedimientos y configuración seguida para los sitios Experimentales.

### 3.2.1.7.3.- Cuelgas de *M. chilensis* (choritos)

La industria del cultivo del mejillón (*Mytilus chilensis*) es la principal actividad económica centrada en moluscos en el sur de Chile. Por este motivo se integrará esta especie en el Cultivo Multi-Trófico propuesto.

Sobre esta especie existe bastante información sobre su FISIOLÓGÍA y TECNOLOGÍA DE CULTIVO.

El diseño de las cuelgas de choritos (*M. chilensis*) se esquematiza en las Figuras 37. Se instalaron 63 cuelgas de choritos amarradas a la línea madre de 25 m, separadas por 40 cm entre ellas. El largo de las cuelgas es de 4 metros. En total, se instaló dos líneas de choritos de 25 m en la cabecera sur y otras dos en la cabecera norte (Figura 38).



**Figura 37.** Diseño de las cuelgas de choritos (*M. chilensis*), sujetas a una línea madre de 25 m entre las boyas de fondeo.



**Figura 38.** Amarre de las cuelgas a la línea madre y una cuelga de chorito.

#### **3.2.1.7.4.- Criterios de selección y antecedentes de las macroalgas experimentales**

Para la selección de las especies de macroalgas, se consideró 5 criterios propuestos por (Guerrero & Cremades, 2012):

1. Tasa de crecimiento
2. Ciclo de vida y técnicas de cultivo disponibles
3. Resistencia a epifitos y enfermedades
4. Requerimientos eco fisiológicos coincidentes con lo disponible en el medio ambiente
5. Especie nativas
6. Valor comercial

Considerando lo anteriormente enumerado, se buscó entre las especies chilenas aquellas que al menos reunieran la mayoría de estos criterios y características, concluyendo que en base a la información disponible las especies *Gracilaria chilensis* y *Macrocystis pyrifera* son dos especies que presentan tasa de crecimiento alta, tecnologías de cultivo ya probadas y existen cultivos comerciales, requerimientos fisiológicos acordes con la disponibilidad de N disponible en el medio y de acuerdo a la literatura remueven principalmente amonio y

nitratos y finalmente ambas tienen valor comercial. Se ha incluido también una especie de alga roja de importancia económica y nativa, *Gigartina skottsbergii*, la cual si bien tiene una tasa de crecimiento inferior a las otras especies propuestas, presenta características fisiológicas que permiten instalar los cultivos a mayor profundidad, pudiendo remover una fracción de nutrientes que se encuentre asociada a mayor profundidad. Esta especie es importante ya que tiene valor comercial y además tiene la posibilidad de crecer vegetativamente similar a la metodología de cultivo de *G. chilensis* (Westernermeier, et al., 2012), lo que simplifica su cultivo.

A continuación se entrega un análisis comparativo con las características de cada una de las especies seleccionadas (Tabla 3).

**Tabla 3.** Características de las especies seleccionadas

<b>Criterio de selección</b>	<b><i>Gracilaria chilensis</i></b>	<b><i>Macrocystis pyrifera</i></b>	<b><i>Gigartina skottsbergii</i></b>
Alta tasa de crecimiento y de concentración de N en sus tejidos	0.010 RGR [1] Tasa Crecimiento Relativo 0.04 RGR primavera [2]	0.06 RGR primavera [2]	0.02 RGR [3]
Facilidad de cultivo y del control de su ciclo de vida	Si	Si	Si
Resistente a epifitos y enfermedades	Sensible a epifitos	Hay reportes de epifauna como briozoos que afectan cultivos de <i>Macrocystis</i>	No hay información de enfermedades
Coincidencia de sus requerimientos eco-fisiológicos con los del sistema	Nitrato [4]	Nitrato y Amonio [2]	Amonio [3]
Especie local o ya introducida	Especie local	Especie local	Especie local
Valor comercial y usos	Productora de agar	Productora de alginatos, biocombustible y alimento de abalones	Productora de carrageninas

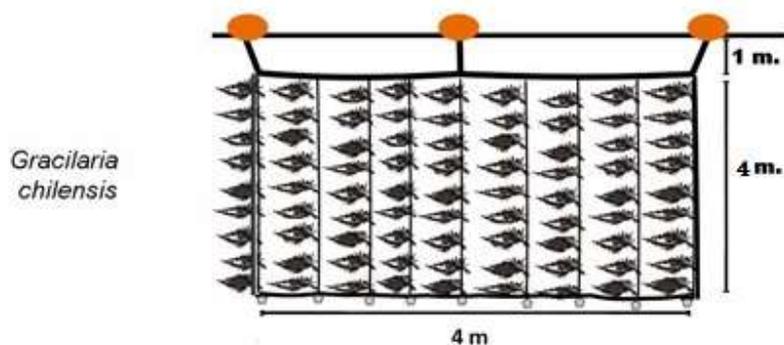
#### 3.2.1.7.4.1.- Cuelgas de *Gracilaria chilensis*

De manera similar, los cultivos de macroalgas se cuelgan de la línea madre instalada entre las boyas de fondeo del módulo de salmones. Una de las especies de macroalga seleccionada es *Gracilaria chilensis*, alga roja de importancia económica por ser materia prima para producción de agar. Especie de alga roja endémica de las costas de Chile. Talo cilíndrico filamentososo formado por uno o varios ejes alargados ramificados en forma alternada, opuesta o irregular, de color rojo violáceo. Los talos pueden estar fijos a sustratos sólidos por un disco de adhesión, sin embargo, con mayor frecuencia se encuentran enterrados en la arena. Es una especie de tasa de crecimiento entre 2 y 3%. El valor comercial en playa de esta especie es de 200 \$/Kg húmedo.

Las cuelgas con pelillo (*G. chilensis*) se prepararon con algas vegetativas, material obtenido de una concesión de pelillo ubicada en Pichiquillaípe (Puerto Montt). Las plantas fueron enrolladas en cuelgas de 4 m tipo trenzas confeccionadas con pita plástica y una máquina torcedora que las deja firmemente incluidas (Figura 39, izquierda). En Tenaún se confeccionaron los cuadros de 4x3 con estas cuelgas de pelillo (Figura 39, derecha). Los cuadros o unidades de 4x3 con cuelgas de pelillo son amarrados a la línea madre y contrapesados con potalas en su relinga inferior (Figura 40 y 41).



**Figura 39.** Izquierda: Confección de cuelgas de pelillo con hilo torcido mecánicamente. Derecha: Preparación de los paños con cuelgas de pelillo que serán instaladas en la línea madre.

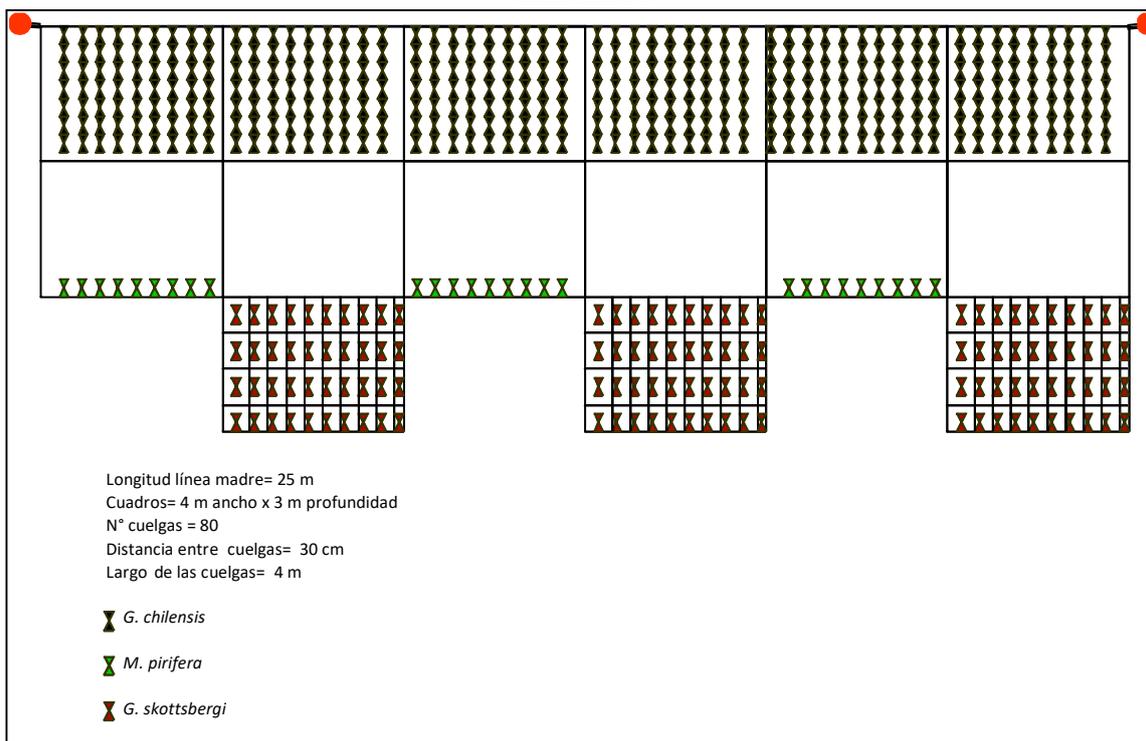


**Figura 40.** Unidad o cuadro con pelillo que fue suspendido desde la línea madre. El cuadro tiene 3 m de altura y las cuelgas de pelillo son de 4 m de largo, para evitar la tensión con las corrientes de marea.



**Figura 41.** Transporte e instalación de los cuadros con cuelgas de pelillo en la línea madre.

Una vez instaladas las cuelgas de pelillo, se agregan las redes y líneas con las otras especies de macroalgas consideradas para en módulo experimental multitrófico (Figura 42)



**Figura 42.** Configuración final de las tres especies de macroalgas experimentales

#### 3.2.1.7.4.2.- Cuelgas de *Macrocystis pyrifera*

*Macrocystis pyrifera* (es un Alga Parda conocida comúnmente como Huiro, Sargazo o Huiro Canutillo). Tiene importancia económica al ser productora de alginatos, un hidrocoloide usado en la industria alimentaria y farmacéutica, es usado para la producción de biodiesel y también como parte de la dieta de Abalones. Si bien tiene importancia económica tiene bajo valor se vende a 40-60 \$/Kg húmedo.

*Macrocystis pyrifera* tiene una amplia distribución en el Océano. En Chile se encuentra desde Tocopilla a Magallanes, en sectores protegidos y semi-protegidos con sustratos rocosos. La especie se distribuye en ambientes submareales hasta los 20 m de profundidad y, excepcionalmente, hasta 80 m. Es una especie de tasa de crecimiento alta, sobre 3% diario.

El huiro tiene un talo erecto de hasta 30 m de largo, que se adhiere al sustrato mediante un disco basal cónico llamado “grampón”. Este está formado por hapterios ramificados libres, que forman un disco de hasta 70 cm de diámetro. La parte erecta de la planta, nace

de numerosos estipes que presentan frondas piriformes con un aerocisto basal, formando una fronda canopia.

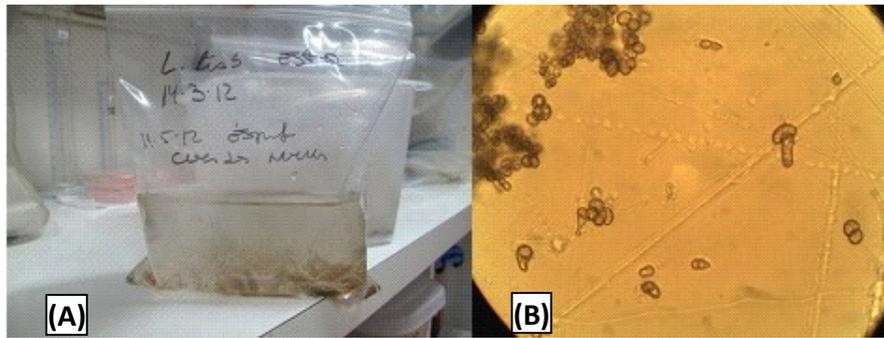
El ciclo de vida de la especie es heteromórfico con alternancia generacional, donde la fase macroscópica corresponde al esporofito. El individuo esporofítico tiene frondas reproductivas especializadas llamadas esporofilas, las que se encuentran en la parte inferior de la planta y no presentan aerocisto. Las esporofilas liberan zoosporas que dan origen a gametofitos microscópicos masculinos o femeninos. El gametofito masculino libera espermacios que fecundan a la célula huevo, el que se desarrolla hasta formar un esporofito macroscópico.

Se considera en la literatura que *Macrocystis pyrifera* es una especie bio-ingeniera, debido a que provee a otras especies alimento, refugio y hábitat, y forma bosques en el submareal.

Se colectaron en localidades costeras de la Región de Los Lagos ejemplares de *Macrocystis pyrifera* en estado reproductivo (esporofilas) y transportadas en “cooler” tipo Coleman hasta el laboratorio de algas de La Universidad Arturo Prat ubicado en la ciudad de Puerto Montt. Una vez que las esporofilas estuvieron en el laboratorio, se seleccionaron los trozos de esporofilas que contenían los soros esporangiales maduros, las cuales fueron lavadas primero bajo un chorro de agua dulce y posteriormente pasadas por 4 lavados con agua de mar filtrada y esterilizada. Se dejaron a oscuras por un periodo de 3 horas en papel absorbente. Pasado este periodo, se sacaron los trozos seleccionados de las esporofilas del papel absorbente y fueron introducidas en bolsas plásticas transparentes (Figura 43 A) con agua de mar y nutrientes (Provasoli) en un periodo de 1 a 3 horas, durante el cual ocurrió la liberación de las zoosporas. Una vez verificada la esporulación con el microscopio se retiraron las esporofilas de las bolsas plásticas para ser incubadas en una cámara de cultivo bajo condiciones controladas: Temperatura de 10°C; fotoperiodo 16:08 (luz: oscuridad); intensidad luz de 30 – 40  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

A los 7 días se procedió a desprender las zoosporas y gametofitos de las paredes de la bolsas plásticas (Fig. 43 A) y se realizó el primer cambio de medio de cultivo con

nutrientes. Posteriormente los cambios se realizaron una vez por semana. Una vez que el cultivo inició su desarrollo, se observaron los gametofitos de una o más células (Figura 43 B). Posteriormente, entre 21 a 28 días se produjo la fecundación y el inicio del desarrollo de esporofitos (100  $\mu$ m).



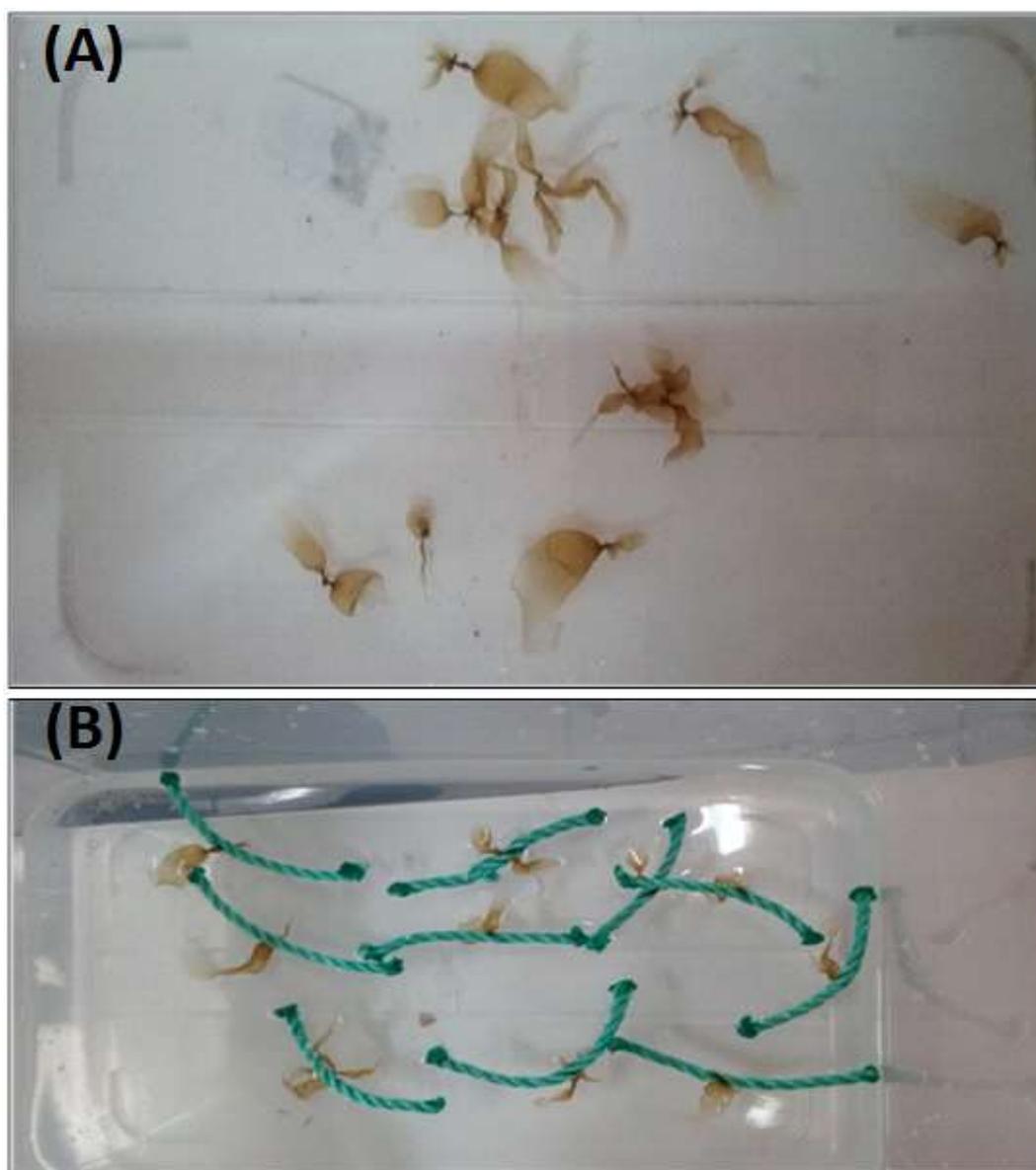
**Figura 43.** A) Bolsas plásticas con cultivo de esporas al inicio del cultivo. B) Gametofitos iniciales.

Una vez que los esporofitos alcanzaron a una longitud promedio de 500  $\mu$ m fueron retirados de la cámara de cultivo y se comenzó su cultivo en botellas de diferentes graduaciones (Figura 44 A) dependiendo del volumen y tamaño de los esporofitos, con adición de aireación. Los cambios de medio de cultivo se hicieron semanalmente y el cambio de volumen de botellas también (Figura 44 B).



**Figura 44.** A) Frasco con esporofitos de vida libre B) Estantes con cultivos de esporofitos de vida libre en botellas con agua de mar y burbujeo constante.

Una vez que los esporofitos alcanzaron una longitud superior a 2,5 cm (Figura 45 A) estuvieron listos para ser encordados y llevados al mar (Figura 45 B).



**Figura 45.** A) Esporofito de 3 a 5 cm de longitud listos para ser encordados B) Esporofito de 3 a 5 cm de longitud encordados y listos para ser trasladado al mar.

Las plántulas encordadas (Figura 35 B), se distribuyeron en las cuerdas de cultivo cada 30 cm (3 plántulas por m lineal) para lograr un buen desarrollo y crecimiento de las plántulas, que busca alcanzar una producción de 400 a 500 plántulas para cada línea de 100 m.

Las líneas (cuerdas) con esporofitos de *Macrocystis* se instalaron a 7 m de profundidad bajo el cultivo de Gracilaria como se muestra en la Figura 42.

#### **3.2.1.7.4.3.- Cuelgas de *Gigartina skottsbergii***

Se colectaron frondas de *Gigartina skottsbergii*, luga roja, desde praderas naturales del área de manejo de Sindicato de Pescadores Artesanales Chauman, Isla de Chiloé. Esta especie presenta una fronda gruesa laminar de color rojo a burdeo, de contorno elipsoidal cuyo eje menor corresponde al alto de la fronda y el eje mayor al ancho, alcanzando tamaños de 40 cm de alto por 60 cm de ancho cuando son cosechables. Las láminas a menudo pueden ser lobuladas, onduladas, se fijan al sustrato por medio de varias estructuras conocidas como hapterios gruesos y cortos, agrupados en un área pequeña sobre la cara inferior, restringidos generalmente a la zona basal. Es una especie estrictamente submareal, de crecimiento lento, que habita entre los 3 hasta los 20 m, dependiendo de la transparencia del agua o de la disponibilidad de sustrato estable (rocas macizas, bolones y valvas de moluscos). Esta especie de alga roja es de importancia económica y es la materia prima para producción de carrageninas, se vende en playa a un valor promedio de 350 \$/KG húmedo.

Los ejemplares adultos fueron trasladados en cajas aisladas tipo Coleman hasta las instalaciones del Sindicato de Pescadores Artesanales de Tenaún, donde fueron fraccionadas mediante cortes con cuchillo, perforadas y amarradas a redes con abertura de malla de 10". Luego estas redes fueron colgadas de la línea madre a una profundidad de 7 m, de acuerdo como se muestra en la Figura 42.

La compra de ejemplares adultos se hizo sólo los primeros días de octubre, puesto que este recurso se encuentra afecto a una veda biológica en las Regiones X y XI entre el 1 de mayo y el 30 de septiembre de cada año.

Las frondas fueron seleccionadas en relación al tamaño cuidando de utilizar ejemplares de tamaños superiores a 15 cm. Las algas seleccionadas fueron seccionadas y se tomaron al azar una muestra de 40 trozos de fronda para registrar el peso húmedo inicial. Se instalaron en forma vertical 5 redes de 3 m de largo por 10 m de ancho, en las líneas madres. Para la siembra se usaron algas tetraspóricas y cistocáricas y sin estructuras reproductivas (Figura 46). Las redes fueron instaladas a una profundidad de entre 7 y 10 m, bajo el cultivo de *Gracilaria*.



**Figura 46.** *Gigartina skottsbergii*, ejemplares reproductivos de praderas naturales de la Región de Los Lagos

Las redes fueron preparadas con los trozos de algas cortados, perforados y amarrados con cabo de 2 a 2,5 mm a la red de cultivo (Figura 47).



**Figura 47.** Preparación de las redes con cultivos vegetativos de *Gigartina skottsbergii*

Una vez lista la red es trasladada en embarcación a la zona de cultivo para suspenderla de la línea madre (Figura 48).



**Figura 48.** Izquierda: Red de 3 m de longitud x 10 m de ancho con trozos de luga roja amarrados para ser instalado en el mar. Derecha: Unidad de siembra compuesta por red y algas para cultivo suspendido en cubierta de embarcación para traslado e instalación de línea de cultivo

### 3.2.1.8.- Muestreos iniciales

Como resumen de las evaluaciones de los cultivos experimentales, tanto de *Mytilus chilensis* como de las especies de macroalgas en cultivo, se entrega en la Tabla 4 las fechas de siembra, muestreos y cosechas.

**Tabla 4.** Fechas de siembra, muestreo y cosechas de experimentos de macroalgas y choritos. Para el pelillo se realizan 3 siembras (A, B y C) con sus respectivos muestreos y cosechas. Sólo en el caso de experiencia pelillo B se cosecha parte de las cuelgas y otras se dejan para cosecha posterior.

Fecha	Especie/Sitio	Siembra	Muestreo	Cosecha	Periodo	Observaciones
17 sep 2015	choritos/salmón	x	x	-	0	Inicio
28 sep 2015	Pelillos (A)/salmón	x	x	-	0	1° Siembra (A)
30 sep 2015	choritos/control	x	x	-	0	Inicio
06 oct 2015	Pelillo (A)/control	x	x	-	0	1° Siembra (A)
15 oct 2015	huiro/control/salmón	x	x	-	0	Inicio
17 oct 2015	luga roja/salmón/control	x	x	-	0	Inicio
20 oct 2015	choritos/salmón		x	-	33 días	1° Muestreo
22 oct 2015	Todos	buceo	filmación	submarina	35 días	Anexo XVIII
02 nov 2015	choritos/control	-	x		33 días	1° Muestreo
17 nov 2015	huiro/control/salmón	-	-	-	60 días	Retiro/por mortalidad
17 nov 2015	Pelillo (A)/salmón	-	x	x	50 días	Muestreo (A) y Cosecha
17 nov 2015	Pelillo (A)/control	-	x	x	42 días	Muestreo (A) y Cosecha
19 nov 2015	Pelillo (B)/salmón	X	x	-	0	2° Siembra (B)
26 nov 2015	Pelillo (B)/control	X	x	-	0	2° Siembra (B)
02 dic 2015	choritos/control	-	x	-	63 días	2° Muestreo
15 dic 2015	choritos/salmón	-	x	-	56 días	2° Muestreo
15 dic 2015	luga roja/salmón/control	-	x	-	60 días	1° Muestreo
30 dic 2015	Pelillo (B)/salmón	-	x	-	41 días	2° Muestreo (B)
30 dic 2015	Pelillo (B)/control	-	x	-	34 días	2° Muestreo (B)
07 ene 2016	Pelillo (B)/salmón/control	-	x	x	49 días	3° Muestreo (B) y Cosecha
07 ene 2016	Pelillo (C)/salmón/control	x	x	-	0	Sólo SW, SE y Ctrl1
26 ene 2016	Pelillo (B)/salmón/control	-	x	x	68 días	4° Muestreo (B) y Cosecha
26 ene 2016	Pelillo (C)/salmón/control	-	x	x	19 días	1° Muestreo (C) y Cosecha
25 ene 2016	choritos/salmón/control	-	x	x	130 días	3° Muestreo y Cosecha
25 ene 2016	luga roja/salmón/control	-	x	x	100	2° Muestreo y Cosecha

### 3.2.1.8.1- Cultivos de Macroalgas Integrados a Salmones

A continuación se entregan los resultados de los cultivos de macroalgas integrados con el cultivo industrial de salmones. El peso de las cuelgas de pelillo se consideró sin epífitos. Los principales organismos encontrados sobre las plantas correspondieron a anfípodos, los que fueron removidos mediante una fuerte agitación en el agua. En general, las cuelgas no presentaban otras especies acompañantes o materia orgánica adherida, debido principalmente a la magnitud de las corrientes marinas en los lugares de experimentación (>35 cm/s).

Respecto a la tasa de crecimiento diario en biomasa de algas (Tabla 4a), se observó que el pelillo tuvo un incremento en peso mayor en la cercanía del centro de salmones. También se encontró diferencias significativas en la tasa de crecimiento entre las cabeceras del módulo, lo que también se observó durante la cosecha, encontrándose las mayores tasas de crecimiento en la cabecera sur del centro de cultivo de salmones.

La luga roja, después de 60 días de cultivo (muestreo único), presentó la mayor tasa de crecimiento (%) en la cabecera Sur-West (SW), pero no se diferenció significativamente de la tasa observada en otras cabeceras. La cosecha se realizó a los 100 días de cultivo y se observó diferencias significativas en las tasas de crecimiento asociadas al centro salmonero. Sólo el crecimiento de cabecera NE no mostró diferencias significativas con los controles.

**Tabla 4a.** Tasa de crecimiento diario (%) en biomasa de muestreo y cosecha de macroalgas en modulo experimental IMTA. Letra minúscula indican los grupos que se pueden diferenciar estadísticamente (HSD de Tukey) en los datos de cada muestreo o cosecha.

	Pelillo			Luga Roja		
	1° siembra	2° siembra		3° siembra		
Ubicación	Cosecha (%)	Muestreo (%)	Cosecha (%)	Cosecha (%)	Muestreo (%)	Cosecha (%)
NE	1,82 <i>ab</i>	0,79 <i>c</i>			0,59 <i>a</i>	0,67 <i>cb</i>
NW	1,89 <i>ab</i>	4,35 <i>a</i>	2,86 <i>a</i>		0,93 <i>a</i>	0,87 <i>a</i>
SE	1,90 <i>ab</i>	3,23 <i>b</i>	2,82 <i>a</i>	2,89 <i>a</i>	0,87 <i>a</i>	0,81 <i>ab</i>
SW	2,74 <i>a</i>	4,67 <i>a</i>		1,15 <i>b</i>	1,08 <i>a</i>	0,77 <i>ab</i>
Control 1	1,68 <i>b</i>			0,85 <i>b</i>	0,56 <i>a</i>	0,77 <i>ab</i>
Control 2	1,22 <i>b</i>	2,21 <i>c</i>	1,47 <i>b</i>		0,85 <i>a</i>	0,52 <i>c</i>
Control 3	2,22 <i>ab</i>	0,84 <i>b</i>			0,88 <i>a</i>	0,53 <i>c</i>

### 3.2.1.8.2.- Pelillo (*G. chilensis*)

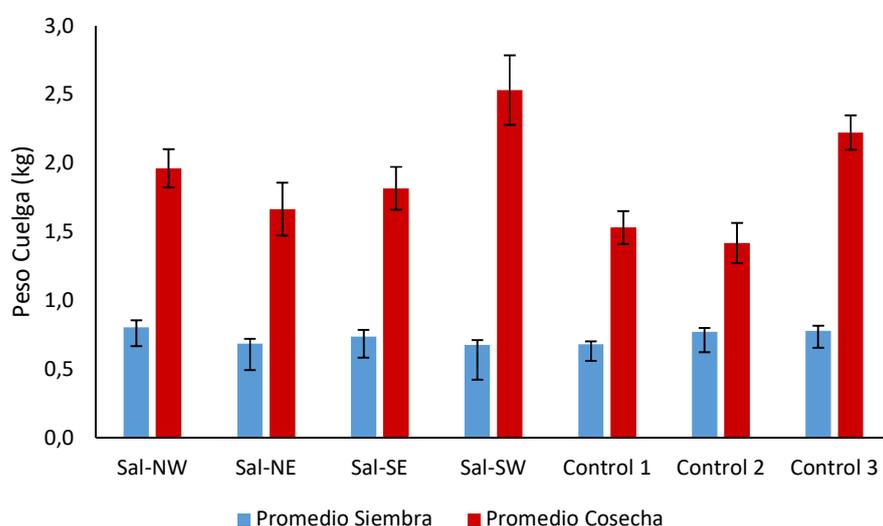
Para evaluar la capacidad de extracción de nutrientes por parte de *G. chilensis* (pelillo), se efectuó 3 siembras durante todo el periodo experimental.

#### 3.2.1.8.2.1.- Experimento 1. Primera siembra de pelillo

La primera siembra de pelillo se efectuó el 28 de septiembre de 2015 y la cosecha se realizó el 17 de noviembre de 2015, representando un periodo de cultivo de 50 días.

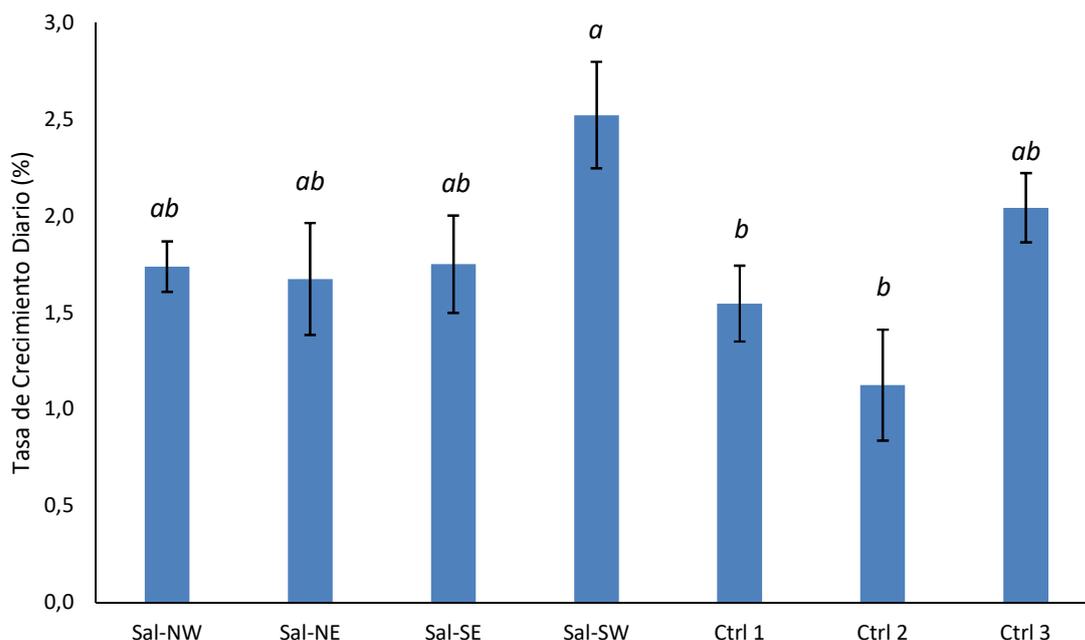
Inicialmente, se pesó al azar entre 6 a 8 cuelgas de pelillo, distribuidas en los 4 sectores experimentales en los vértices del módulo de cultivo de salmones y los tres controles. El peso promedio total por cuelga fue de  $732,5 \pm 107,30$  gr.

En la Figura 49 se muestra el crecimiento promedio en biomasa alcanzado por los cultivos de pelillo en los 50 días de cultivo. Se observa en todos los tratamientos un incremento de la biomasa desde el inicio del experimento, en el caso de las cuelgas ubicadas en el sector SW se observa el mayor incremento alcanzando hasta 2,5 Kg de peso la cuelga, en cambio los tratamientos control 1 y control 2 muestran menor incremento de biomasa.



**Figura 49.** Crecimiento promedio en biomasa (kg por cuelga) en el primer experimento de cultivo de pelillo (50 días) en los cuatro vértices del módulo de cultivo de salmones (Sal-NW, Sal-NE, Sal-SE, Sal-SW) y los tres sectores de control (barra: coeficiente de variación). La Prueba HSD de Tukey (95%) indica que los datos se pueden diferenciar estadísticamente en 3 grupos (a, b y ab).

La tasa de crecimiento diaria expresada como porcentaje en el periodo de cultivo muestra que el mayor índice corresponde a las cuelgas de algas cultivadas en el sector SW (Figura 50). La tasa de crecimiento del pelillo cultivado en el sector SW es el único significativamente mayor que el observado en los sitios controles más alejados (control 1 y control 2) del centro de cultivo de salmones.



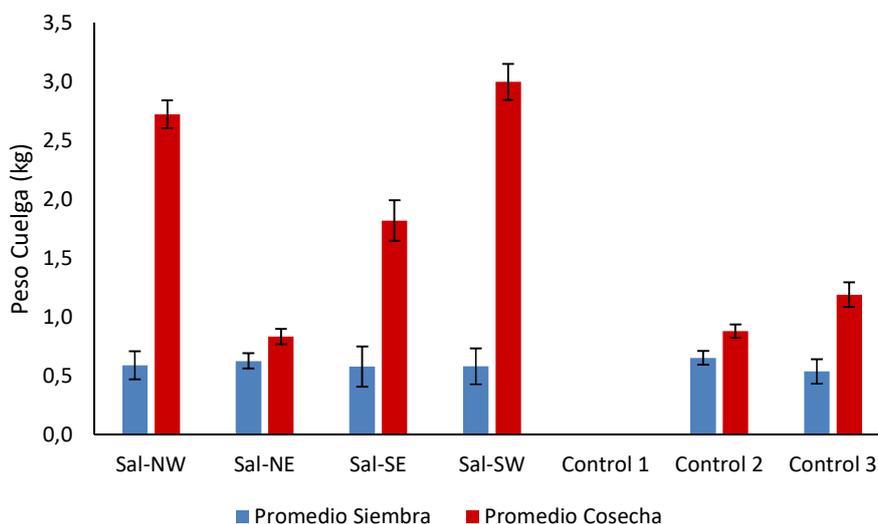
**Figura 50.** Tasa de crecimiento promedio (kg por cuelga) en el primer experimento de cultivo de pelillo (51 días). La Prueba HSD de Tukey (95%) indica que los datos se pueden diferenciar estadísticamente en 3 grupos (a, b y ab).

### 3.2.1.8.2.2.- Experimento 2. Segunda siembra de pelillo

La segunda siembra de pelillo se efectuó el 19 de noviembre de 2015 y la cosecha se realizó el 26 de enero de 2016, es decir, el cultivo estuvo por un periodo de 68 días, con muestreos intermedios los días 30 de diciembre de 2015 (41 días) y 07 de enero de 2016 (49 días).

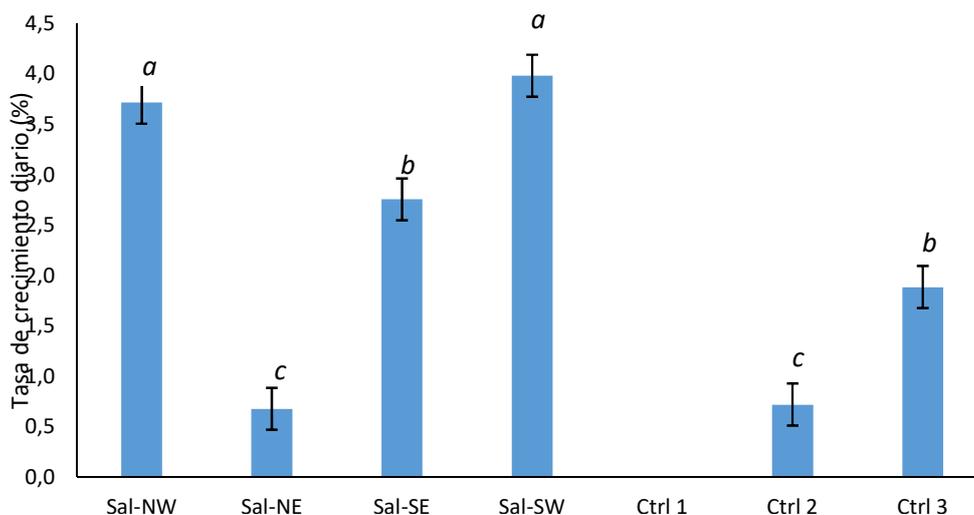
Inicialmente, se pesó al azar entre 6 a 7 cuelgas de pelillo, distribuidas en los 4 sectores experimentales en los vértices del módulo de cultivo de salmónes y en las tres áreas controles. El peso inicial promedio total por cuelga fue de  $608,1 \pm 72,86$  gr.

En la Figura 51 se entregan los resultados del crecimiento promedio en biomasa alcanzado en los primeros 41 días de cultivo de la segunda siembra. Se observa un incremento en la biomasa promedio para todos los tratamientos, la diferencia en NW y SW es superior a los demás tratamientos, alcanzando valores máximos por sobre los 2,5 kg por cuelga. En el control 2 y control 3 se observa un leve incremento de la biomasa, alcanzando en el control 3 casi 1,2 kg por cuelga. El control 1 se perdió por efecto de corrientes registrándose solo el peso inicial.



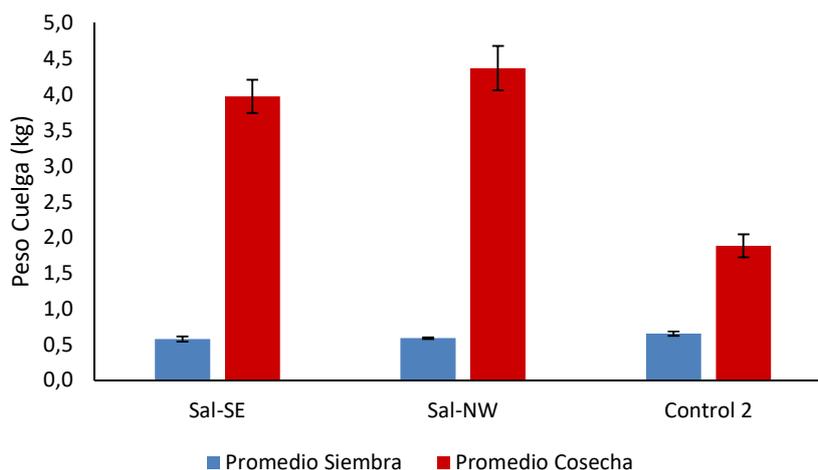
**Figura 51.** Crecimiento promedio en biomasa (kg por cuelga) en el segundo experimento de cultivo de pelillo (41 días) en los cuatro vértices del módulo de cultivo de salmónes (Sal-SE, Sal-SW, Sal-NW, Sal-NE) y dos sectores de control (barra: coeficiente de variación)

La tasa de crecimiento en el periodo de cultivo muestra que el mayor índice corresponde a las cuelgas de algas cultivadas en el sector SW (Figura 52), alcanzando un 4,0% diario, coincidiendo con el mayor crecimiento en biomasa observado. La tasa de crecimiento del pelillo cultivado en el sector SW es el único significativamente mayor que el observado en los sitios controles más alejados del centro de cultivo de salmónes.



**Figura 52.** Tasa de crecimiento promedio (kg por cuelga) en el primer experimento de cultivo de pelillo (41 días). La Prueba HSD de Tukey (95%) indica que los datos se pueden diferenciar estadísticamente en 3 grupos (a, b y ab).

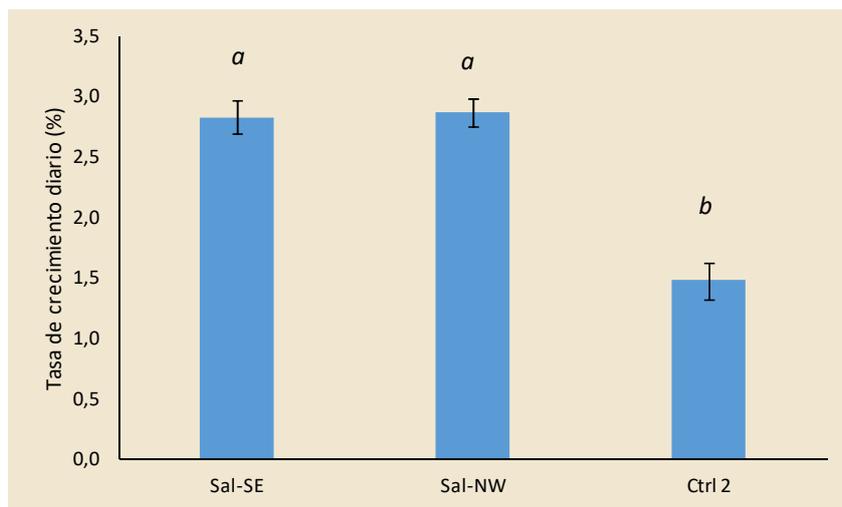
La evaluación del crecimiento promedio en biomasa durante el periodo de cultivo de 68 días, se entrega en la Figura 53, solo para los tratamientos SE, SW y control 2. Los resultados indican que la biomasa alcanzada en los sectores SE y SW es similar en peso y superior a 4 Kg por cuelga, mientras el control alcanza un valor de solo 1,5 kg por cuelga. Los demás tratamientos por problemas de logística no fueron muestreados.



**Figura 53.** Crecimiento promedio en biomasa (kg por cuelga) en el tercer experimento de cultivo de pelillo (68 días) en tres vértices del módulo de cultivo de salmones (Sal-SE, Sal-NW) y el sitio Control 2.

Las cuelgas que mostraron mayor crecimiento promedio en biomasa fueron los pelillos cultivados en el sector SE y NW del módulo de cultivo de salmón.

La tasa de crecimiento observada tanto el sector NW como SE en el periodo de cultivo fue significativamente mayor que en el sitio control (Figura 54) que estaba más alejados del centro de cultivo de salmones.



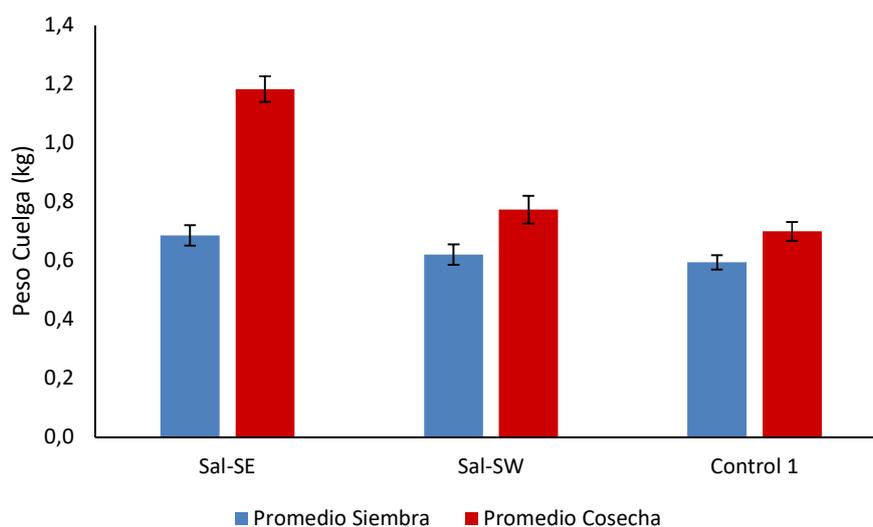
**Figura 54.** Tasa de crecimiento promedio (kg por cuelga) en el tercer experimento de cultivo de pelillo (68 días). La Prueba HSD de Tukey (95%) indica que los datos se pueden diferenciar estadísticamente en 3 grupos (a, b y ab).

### 3.2.1.8.2.3.- Experimento 3. Tercera siembra de pelillo

La tercera siembra de pelillo se efectuó el 07 de enero de 2016 y la cosecha se realizó el 26 de enero de 2016 (19 días).

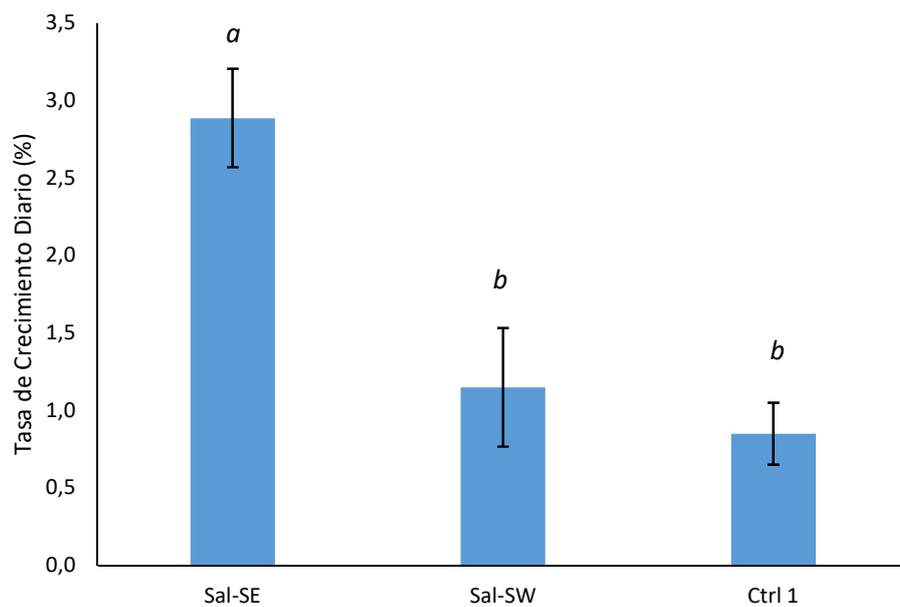
Inicialmente, se pesó al azar entre 7 a 9 cuelgas de pelillo, distribuidas en los sectores experimentales SE, SW y control 1. El peso inicial promedio total por cuelga fue de  $629,6 \pm 90,02$  gr.

El crecimiento promedio en biomasa alcanzado en el periodo de 19 días de cultivo, se muestra en la Figura 55. Las cuelgas que mostraron mayor crecimiento promedio en biomasa fueron las cultivadas en el sector SE del módulo de cultivo de salmón, alcanzando una biomasa de 1,2 kg por cuelga.



**Figura 55.** Crecimiento promedio en biomasa (kg por cuelga) en el tercer experimento de cultivo de pelillo (19 días) en los sectores Sal-SE, Sal-SW y el sector Control 1 (barra: coeficiente de variación)

La tasa de crecimiento en el periodo de cultivo muestra que el mayor índice corresponde a las cuelgas de algas cultivadas en el sector SE (Figura 56), con una diferencia significativa respecto al experimento control. El control muestra una tasa de crecimiento inferior a 1 % mientras el sector SE un valor cercano a 3 % de crecimiento diario.



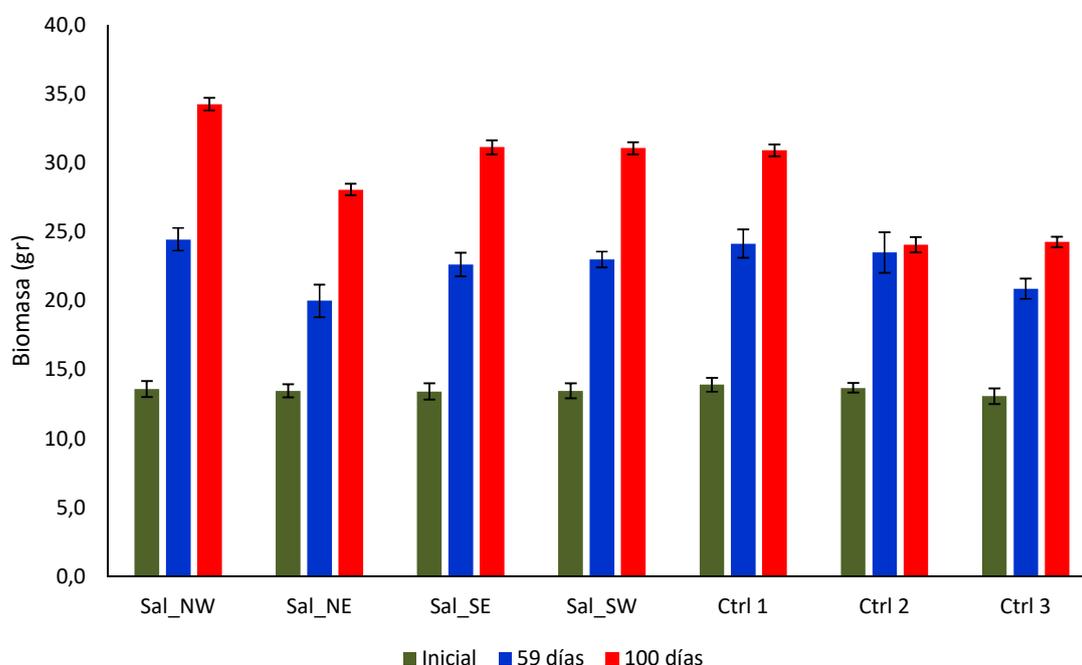
**Figura 56.** Tasa de crecimiento promedio (kg por cuelga) del tercer experimento de cultivo de pelillo (19 días). La Prueba HSD de Tukey (95%) indica que los datos se pueden diferenciar estadísticamente en 3 grupos (a, b y ab).

### 3.2.1.8.3.- *Gigartina skottsbergii* (Luga Roja)

Para evaluar la capacidad de extracción de nutrientes por parte de *G. skottsbergii* (*Luga Roja*), se instaló un cultivo de esta especie en los cuatro sectores alrededor del módulo de cultivo de salmones el 17 de octubre de 2015 y se cosechó el 25 de enero de 2016, después de un periodo de 100 días de cultivo, con un muestreo intermedio el 15 de diciembre de 2015 (59 días).

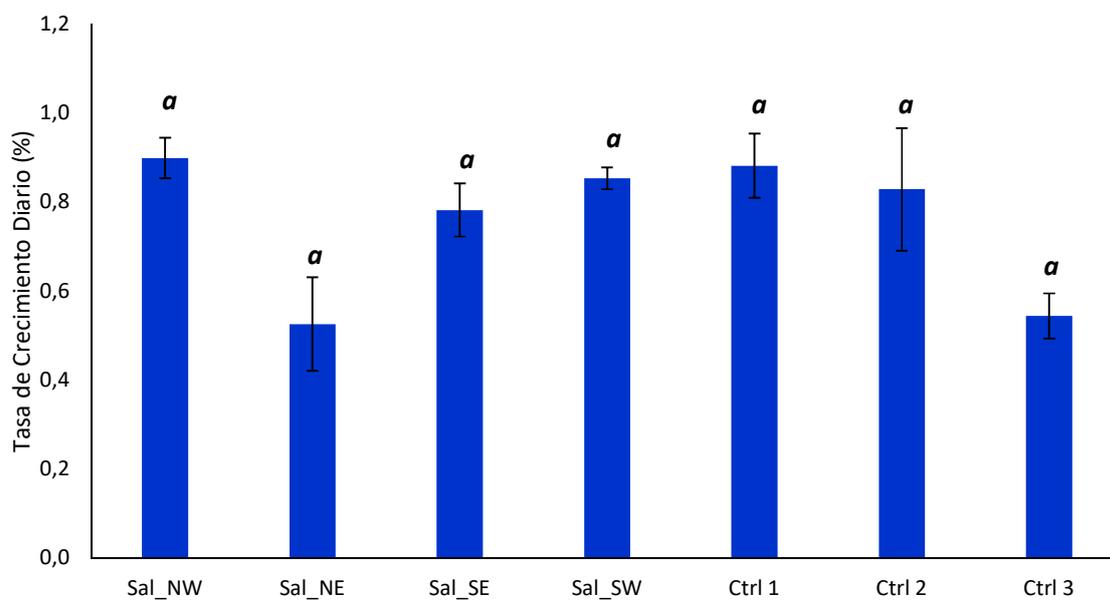
Inicialmente, se pesó al azar 65 trozos de luga roja, distribuidas en los 4 sectores experimentales ubicados en los vértices del módulo de cultivo de salmones y en los tres sitios controles. El peso promedio inicial total fue de  $13,7 \pm 2,67$  gr.

El crecimiento promedio en biomasa alcanzado en los primeros 59 de cultivo, y el periodo total de 100 días se muestra en la Figura 57. El mayor aumento en peso se registró en las algas cultivadas en el sector NW.



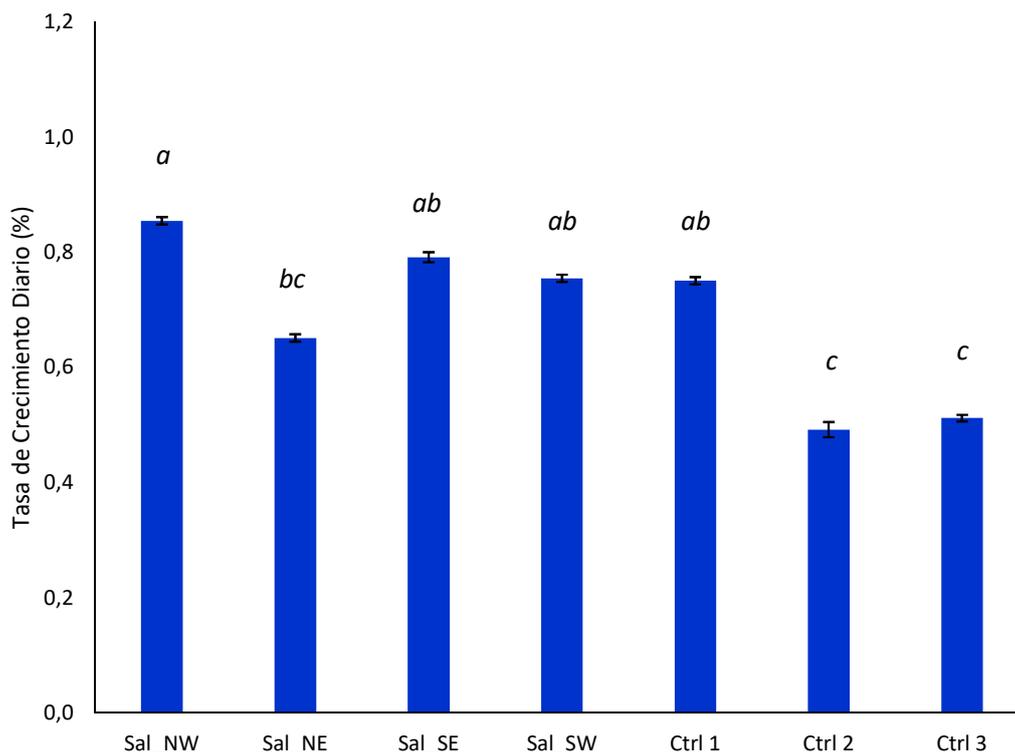
**Figura 57.** Incremento en Peso de *Gigartina skottsbergii* durante la época de primavera

La tasa de crecimiento promedio en biomasa alcanzado en los primeros 59 de cultivo, se entrega en la Figura 58. En el primer periodo de cultivo, la tasa de crecimiento diario fluctuó entre 0.52% y 0,90 %, no observando diferencias significativas (Figura 48). Nótese que la tasa de crecimiento de esta especie es notoriamente inferior a *Gracilaria chilensis*.



**Figura 58.** Tasa de crecimiento diario del peso de *Gigartina skottsbergii* durante el primer periodo de crecimiento (primavera; 59 días). La Prueba HSD de Tukey (95%) indica que los datos se pueden diferenciar estadísticamente en 3 grupos (a, b y ab).

La tasa de crecimiento promedio en biomasa alcanzado durante todo el período de cultivo (100 días), fluctuó entre 0.49% y 0,85 %, observándose diferencias significativas entre las algas cultivadas en el NW y dos de los controles; sin embargo, no presenta diferencias significativas con el Control 1(Figura 59).



**Figura 59.** Tasa de crecimiento diario del peso de *Gigartina skottsbergii* durante todo el periodo de crecimiento (100 días). La Prueba HSD de Tukey (95%) indica que los datos se pueden diferenciar estadísticamente en 3 grupos (a, b y ab).

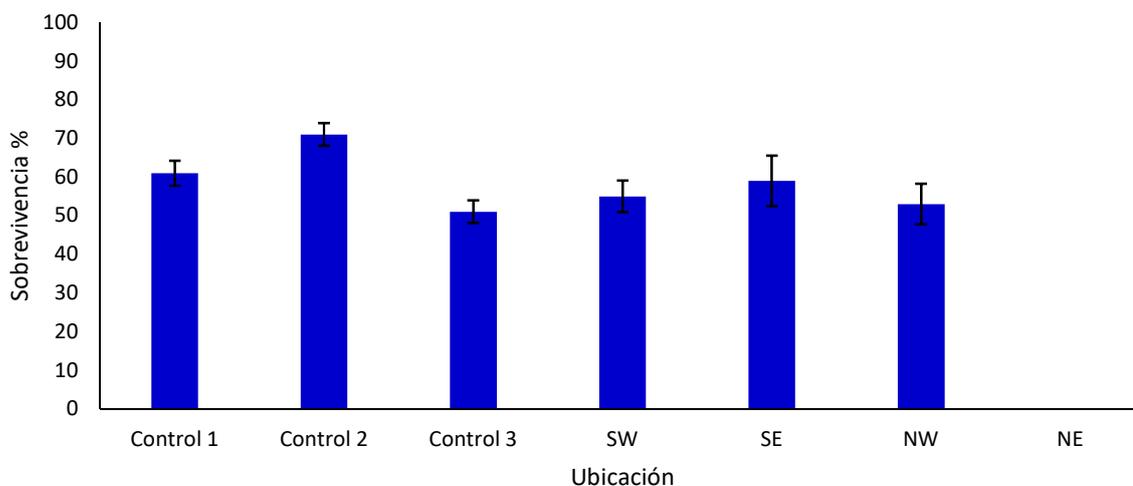
La falta de mayor crecimiento de *G. skottsbergii* se explicaría en que la tasa de crecimiento de esta alga es muy inferior a la tasa de crecimiento de *G. chilensis*, por lo que no respondería a una mayor oferta de nutrientes, como sí responde el pelillo. Los resultados de crecimiento diferencial del pelillo bajo un régimen de co-cultivo con salmones, es similar al informado por los grupos de investigadores que han experimentado con esta especie como bio-remediadora.

La luga roja, a pesar de tener un mayor precio en el mercado, no tiene un potencial de crecimiento que responda a una mayor oferta de nutrientes.

### **3.2.1.8.3.1.-Porcentaje de Supervivencia de *Gigartina skottsbergii***

En el laboratorio se observó que las frondas de *Gigartina* que permanecieron por un período de 100 días en las redes, se encuentran sin marcas de ramoneo y sin necrosamientos, sin embargo, la supervivencia registrada varía entre 50 y 70% en los cultivos (Figura 60)

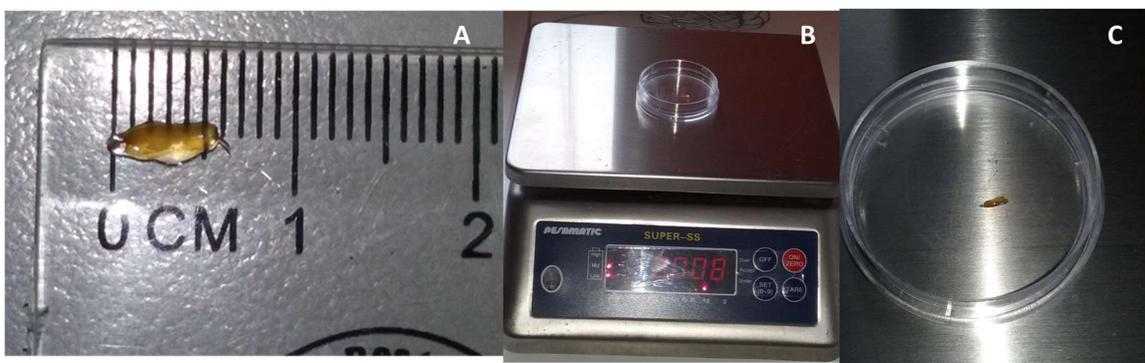
Estos valores son atribuibles, por una parte a la alta velocidad de corriente registrada en los diferentes sectores del centro de cultivo, que desprende las frondas desde el sistema de cultivo y también al desprendimiento que se produce por corte de líneas o redes por manipulación de los servicios externos que operan en las balsas en el centro de cultivo (alimentación, suministro de servicios varios).



**Figura 60.** Porcentaje de supervivencia en cultivos de *Gigartina skottsbergii* durante primavera.

#### 3.2.1.8.4.- Huiro (*M. pyrifera*)

Las plántulas de *Macrocystis pyrifera* provenientes de cultivo del laboratorio de Algas de la Universidad Arturo Prat, Puerto Montt, fueron sacadas de los botellones y se colocaron en una bandeja con agua de mar donde se procedió seleccionar las algas que se encontraban con las condiciones más óptimas para seguir su cultivo en el mar. Para realizar la medición se utilizó una regla lineal graduada donde se colocaba cada plántula (Figura 61A) para medir la longitud (cm). Para el pesaje de cada alga se utilizó una balanza semi analítica para registrar el peso de cada plántula por separado (Figura 61 B y C).



**Figura 61.** (A) Plántula de *M. pyrifera* medida con una regla graduada en milímetros y centímetros. (B) Pesaje de una plántula de *M. pyrifera* con una balanza semi analítica marca Pesamatic modelo Super –SS. (C) Plántula en capsula Petri.

Las algas encordadas y llevadas al mar tienen una longitud que varía entre 3 y 5 cm con un promedio de 2,8 cm y con un peso promedio de 0,14 g por plántula (esporofito) (Tabla 5).

Tabla 5. Muestreo inicial de Huiro (*M. pyrifera*)

***Macrocystis pyrifera***

**Origen:** Pargua, Región de Los Lagos

**Fecha esporulación:** 16 de junio de 2015

Peso (gr)	Longitud (cm)
0,18	4,5
0,24	4,5
0,19	3,0
0,15	2,0
0,13	4,0
0,20	3,8
0,15	3,5
0,14	3,5
0,16	3,0
0,10	4,0
0,11	2,5
0,11	2,5
0,08	2,0
0,22	3,8
0,10	2,5
0,11	3,0
0,15	2,0
0,08	2,5
0,07	2,2
0,13	2,0
0,26	3,0
0,09	2,5
0,23	2,0
0,17	3,0
0,17	2,0
0,20	2,5
0,15	3,0
0,16	3,0
0,12	2,0
0,09	2,0
0,14	2,0
0,06	3,0
0,10	2,5

**Prom: 0,14 2,8**

En las líneas con plántulas de *Macrocystis*, no hubo sobrevivencia de los ejemplares cultivados en ninguno de los sitios de cultivo. Esto debido a las razones antes expuestas para *Gigartina* y que afectaron la sobrevivencia. La velocidad de corriente (20 cm/seg en promedio) en todos los puntos donde se instalaron tanto los cultivos de mitilidos como de

macroalgas, claramente afectó la sobrevivencia ya que además dificultaba la operación del equipo de profesionales durante los muestreos para el control y seguimiento de los mismos.

### 3.2.1.9.- Contenido de proteína en las macroalgas

El contenido de proteína del pelillo en los sitios controles registró en promedio  $15,2 \pm 0,5$  gr en comparación con el promedio general del pelillo en las estaciones experimentales (co-cultivadas con salmones) que registraron en promedio  $18,7 \pm 1,0$  gr de proteínas. Esta tendencia se mantiene al comparar el contenido de proteínas del pelillo co-cultivado con salmones versus el control en el primer período de cultivo (30 de diciembre) (Tabla 6a). En la evaluación efectuada a las algas cosechadas en 26 de enero, que correspondía a la tercera siembra experimental, se registró un contenido promedio de proteínas de 15,3 g de proteína en el pelillo control versus 18,8 g del pelillo co-cultivado con salmones (Tabla 6a).

**Tabla 6a.** Contenido detallado de proteínas en las algas (pelillo) (gr/100 gr)

Fecha	Estación	Proteínas (g)	Promedio
30-dic-15	<b>Control</b>	<b>15,0</b>	<b>15,0</b>
30-dic-15	Sal-NW 1	19,1	<b>18,9±0,28</b>
30-dic-15	Sal-NW 2	18,7	
07-ene-16	Sal-SE	20,0	<b>18,6±2,05</b>
07-ene-16	Sal-SW	17,1	
26-ene-16	<b>Control 1</b>	<b>14,8</b>	<b>15,3±0,71</b>
26-ene-16	<b>Control 2</b>	<b>15,8</b>	
26-ene-16	Sal-SE	18,7	<b>18,8±0,14</b>
26-ene-16	Sal-NW	18,9	

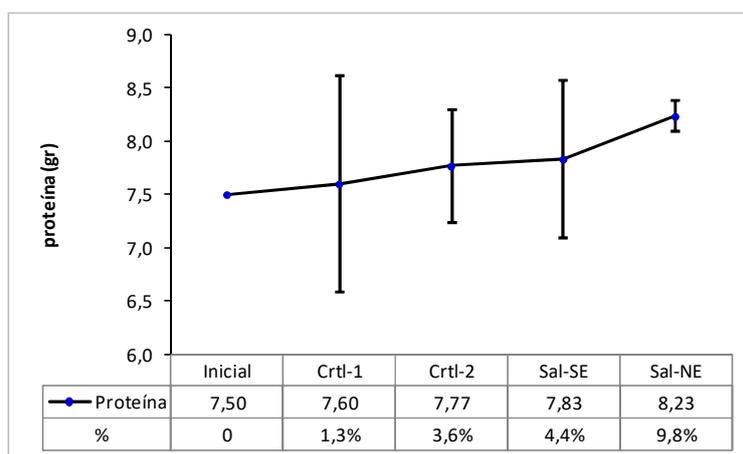
La diferencia porcentual en el contenido de proteína en las algas *G. chilensis* cultivadas durante el primer periodo, fue sobre el 20%, aunque teniendo en consideración que el periodo de crecimiento del alga control fue 7 días menos que la cultivada en las cercanías de los salmones (Tabla 6b). Sin embargo, esta tendencia se mantiene al evaluar la tercera

siembra de pelillo: la cosecha después de 19 días muestra que el contenido de proteína en las algas asociadas al cultivo de salmón fue un 23% superior al control (Tabla 6b).

**Tabla 6b.** Contenido promedio de proteínas en las algas (pelillo) (gr/100 gr)

	Días	Experimento	Proteína	% Dif.
<b>30-dic-15</b>	34	Crtl	15	
<b>30-dic-15</b>	41	Sal	18,9	<b>26%</b>
<b>07-ene-16</b>	49	Sal	18,6	
<b>26-ene-16</b>	19	Crtl	15,3	
<b>26-ene-16</b>	19	Sal	18,8	<b>23%</b>

Para los experimentos con luga roja, las diferencias en el contenido de proteína después de un cultivo de 100 días no son significativamente diferentes respecto al contenido de proteína inicial. En general, para la luga roja cultivada en los sitios control hubo una diferencia porcentual de 1,3-3,6% respecto al contenido inicial, y para las lugas cultivadas en asociación con los salmones las diferencias fueron entre 4,4 y 9,8% respecto a su contenido proteínico inicial (Figura 61b). La luga con mayor crecimiento relativo fue la cultivada en el sector NE del módulo de salmones, donde la corriente impactaba con mayor fuerza y constancia que lo registrado en el sector SE.



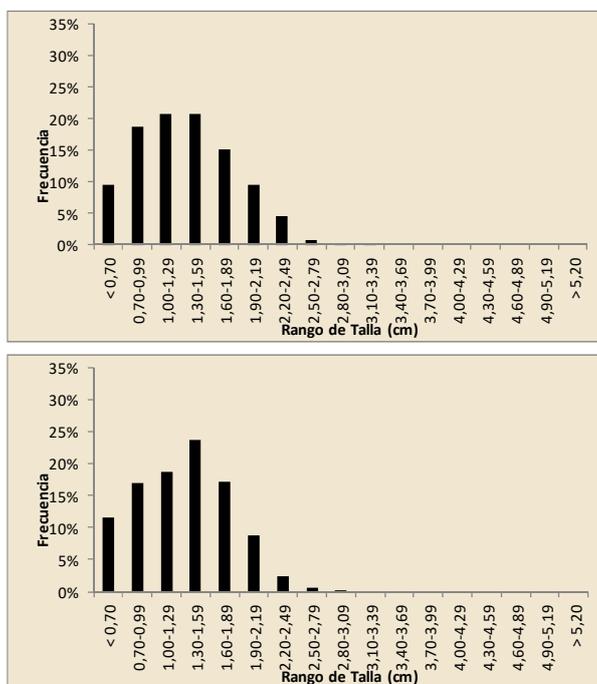
**Figura 61b.-** Contenido de proteína relativo del alga roja *G. skottsbergii* durante un periodo de cultivo de 100 días.

### 3.2.2- Cultivo experimental de mitilidos co-cultivados con salmón

El objetivo de estos experimentos fue evaluar, comparativamente, el crecimiento de los choritos cultivados en asociación con el cultivo de salmones versus los cultivos controles. Los principales parámetros a medir como índices de crecimiento son la longitud valvar, peso húmedo y peso seco de la carne de chorito.

#### 3.2.2.1.- Distribución de frecuencias de tallas: análisis descriptivo

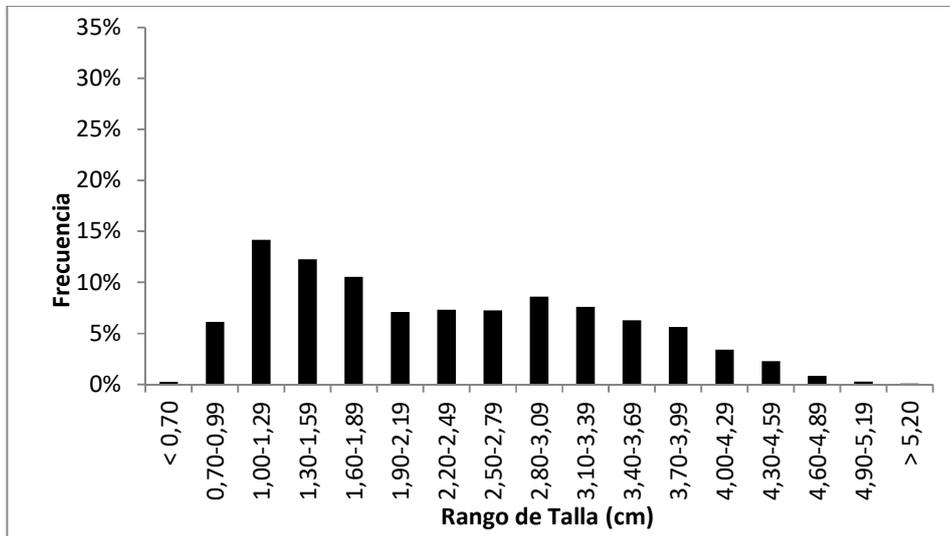
La distribución de frecuencia de tallas inicial de los choritos sembrados tanto en los sitios experimentales (centro de cultivo de salmones) y como en los sitios controles, se puede considerar que son similares (Figura 62).



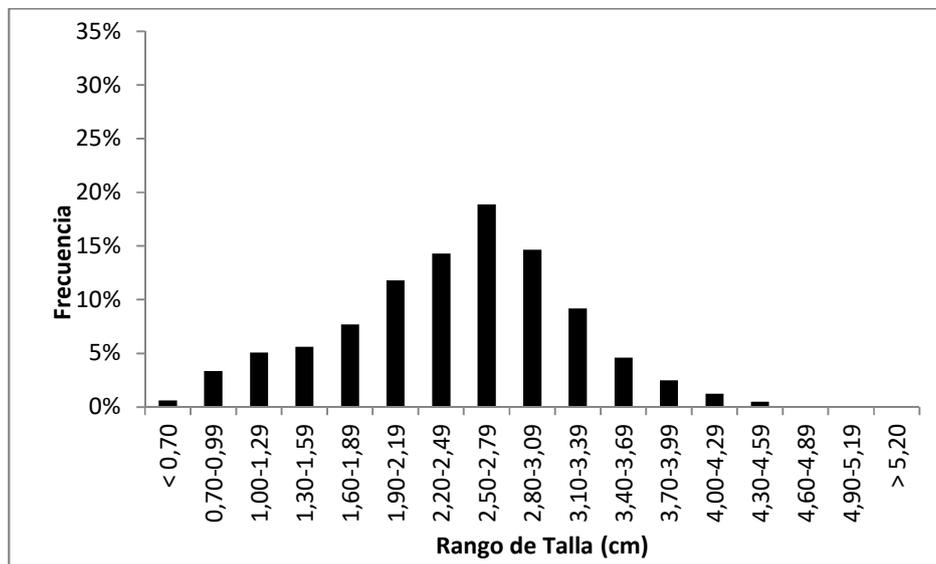
**Figura 62.** Izquierda: Distribución de frecuencia de tallas de choritos sembrados en las líneas asociadas al cultivo de salmones, y Derecha: choritos sembrados en los cultivos controles

La distribución general de frecuencia de tallas a cosecha fue diferente para los tres grupos experimentales. Para los cuatro tratamientos agrupados (co-cultivados con salmones) se observó una amplia dispersión de tallas, desde tamaños por debajo de los 0,7 cm hasta 5,2 cm (Figura 63). En el caso de las tallas registradas en la cosecha del Control 1 (Figura 64), se observó una

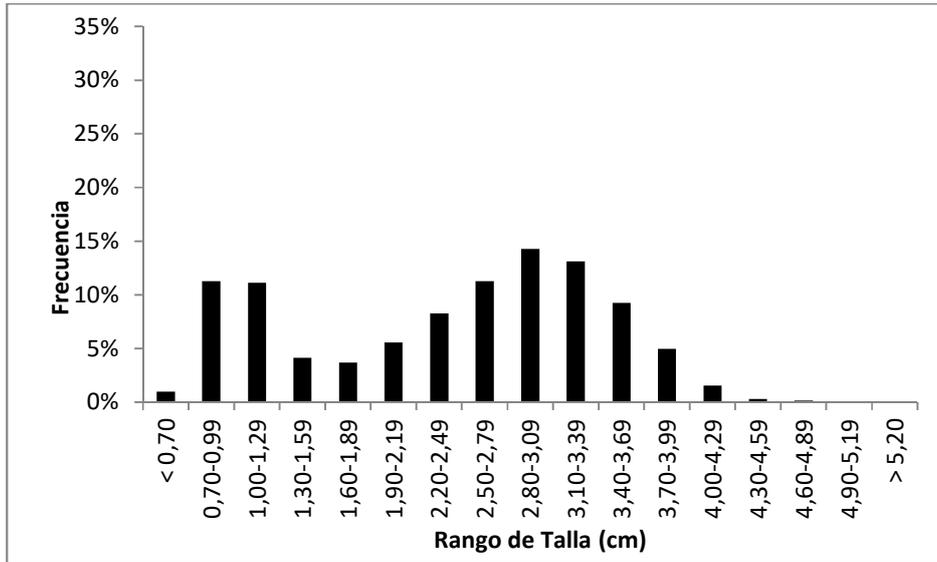
distribución menos extendida, pero con una evidente agrupación de tallas entorno a los 2,50-2,79 cm. Algo similar se observa en las tallas de los choritos cosechados en el cultivo Control 2 (Figura 65), sólo que ocurre una mayor concentración de individuos en torno a la talla 2,80-3,09 cm.



**Figura 63.** Distribución de frecuencia de tallas de los choritos cosechados en los cuatro sitios co-cultivados con salmones (agrupados).

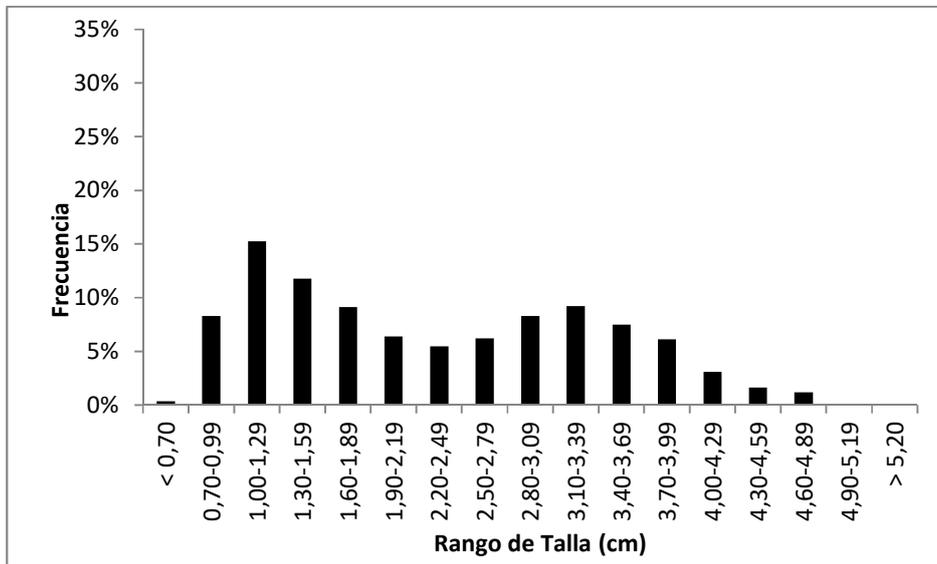


**Figura 64.** Distribución de frecuencia de tallas de los choritos cosechados en el sitio Control 1.

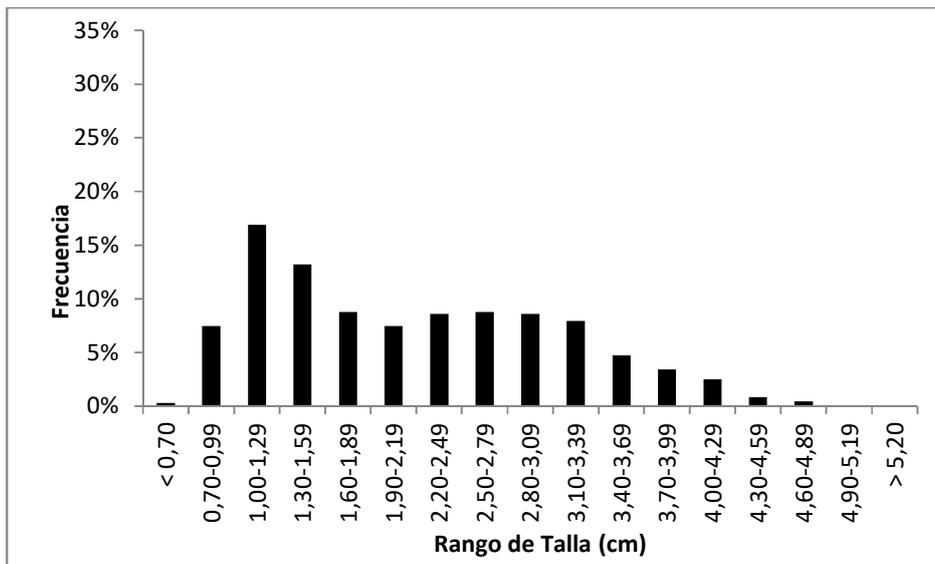


**Figura 65.** Distribución de frecuencia de tallas de los choritos cosechados en el sitio Control 2.

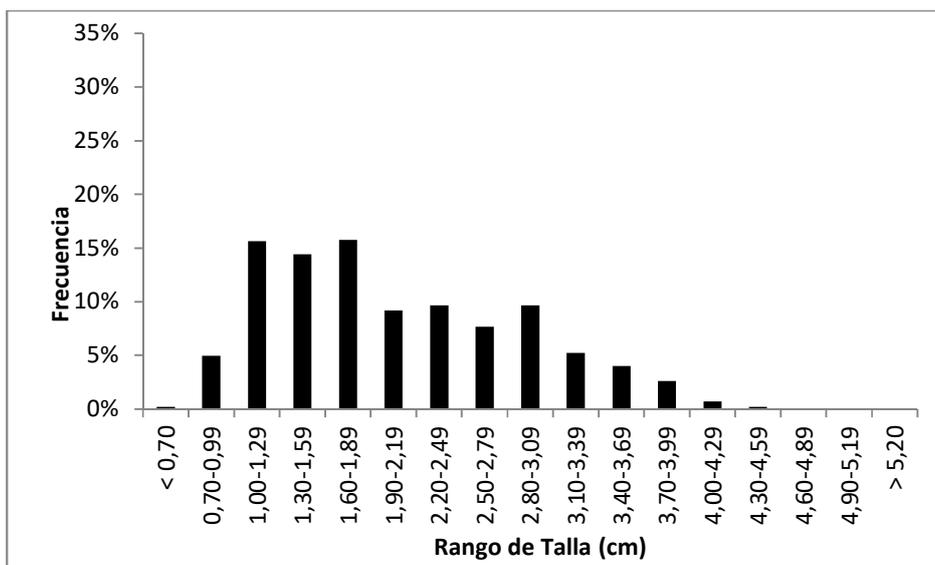
La distribución de tallas a cosecha en los cuatro cultivos asociados al cultivo de salmones (módulo) se distribuyó a lo largo de la mayor parte de clases de talla (Figura 66, 67 y 68), excepto los choritos cultivados en el sector Sur-West del módulo de cultivo de salmones (Figura 69).



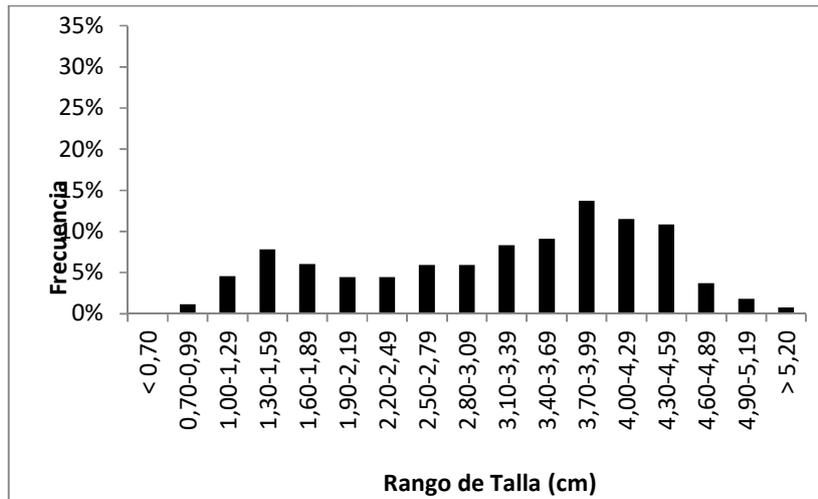
**Figura 66.** Distribución de las clases de talla cosechadas de los mejillones cultivados en el sector NW del módulo de cultivo de salmones.



**Figura 67.** Distribución de las clases de talla cosechadas de los mejillones cultivados en el sector NE del módulo de cultivo de salmones.



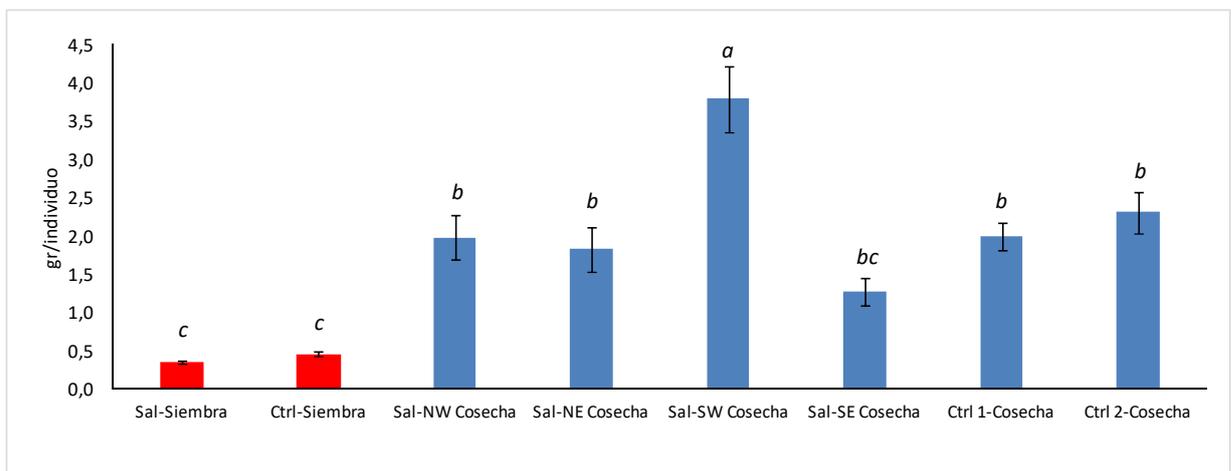
**Figura 68.** Distribución de las clases de talla cosechadas de los mejillones cultivados en el sector SE del módulo de cultivo de salmones.



**Figura 69.** Distribución de las clases de talla cosechadas de los mejillones cultivados en el sector SW del módulo de cultivo de salmones.

### 3.2.6.2.-Peso promedio por individuo

El índice de peso/individuo/cuelga al tiempo de siembra de las semillas de chorito difiere significativamente de los índices al finalizar el periodo de engorda experimental (cosecha). (Figura 70). Sin embargo, este índice a cosecha sólo es significativamente mayor en los choritos co-cultivados en el sector SW del módulo de salmones.

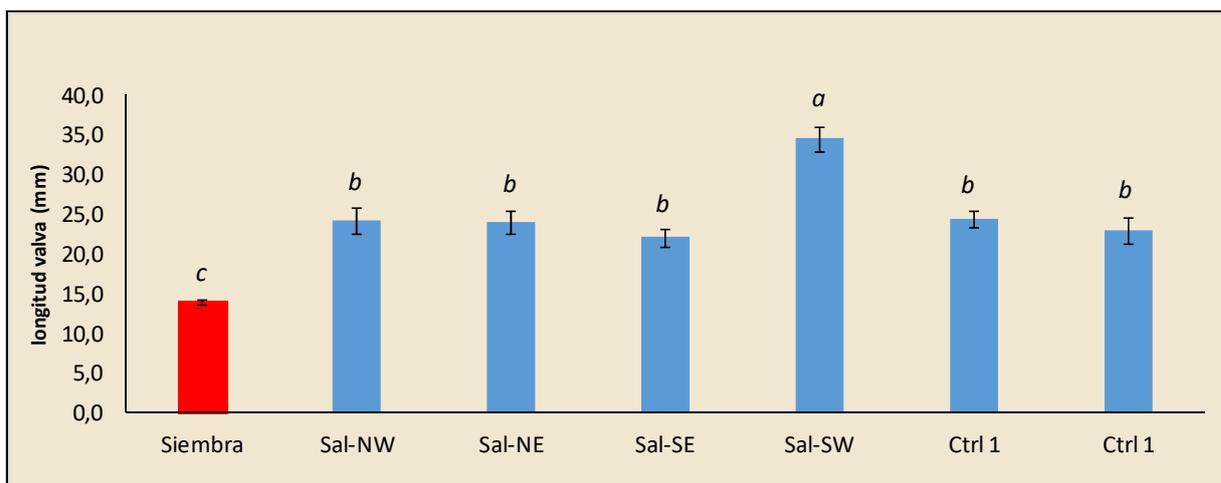


**Figura 70.-** Índice de peso/individuo/cuelga (gr/ind/cuelga) al momento de la siembra de semillas y la cosecha final. La Prueba HSD de Tukey (95%) indica que los datos se pueden diferenciar estadísticamente en 3 grupos (a, b y ab).

### 3.2.2.3.- Longitud y peso promedio

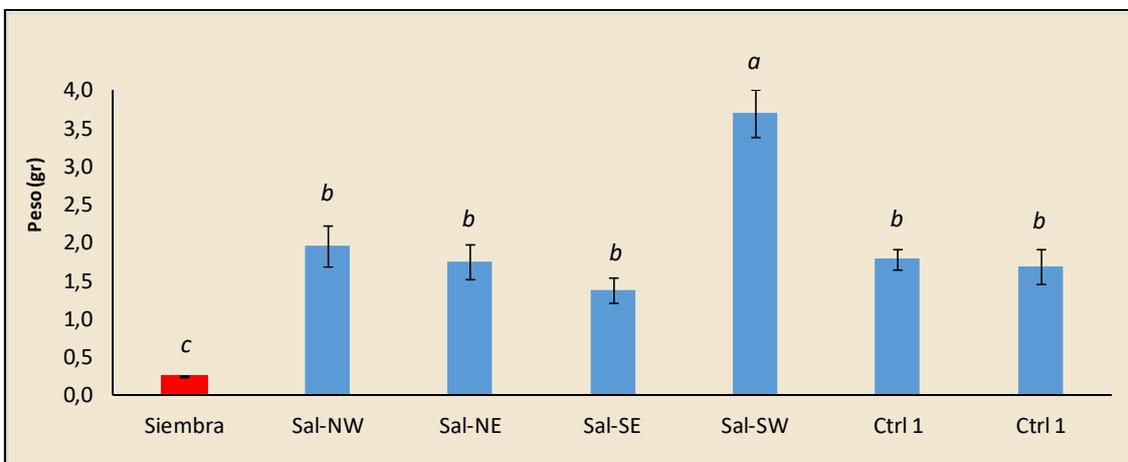
Considerando que la distribución de tallas de los choritos sembrados en los sitios controles y los asociados al cultivo de salmón son similares, se adopta como parámetro inicial de comparación del crecimiento el registro acumulado que represente a los choritos sembrados.

Al comparar las longitudes de valva de los choritos sembrados versus los cosechados (Figura 71), el crecimiento durante el periodo de cultivo fue significativamente superior para todos los tratamientos en comparación a su talla inicial (siembra). Sin embargo, las longitudes de valva al final de periodo (cosecha) no fue significativamente diferente entre tratamientos, excepto para los choritos cultivados en el sector SW del módulo de cultivo de salmón.



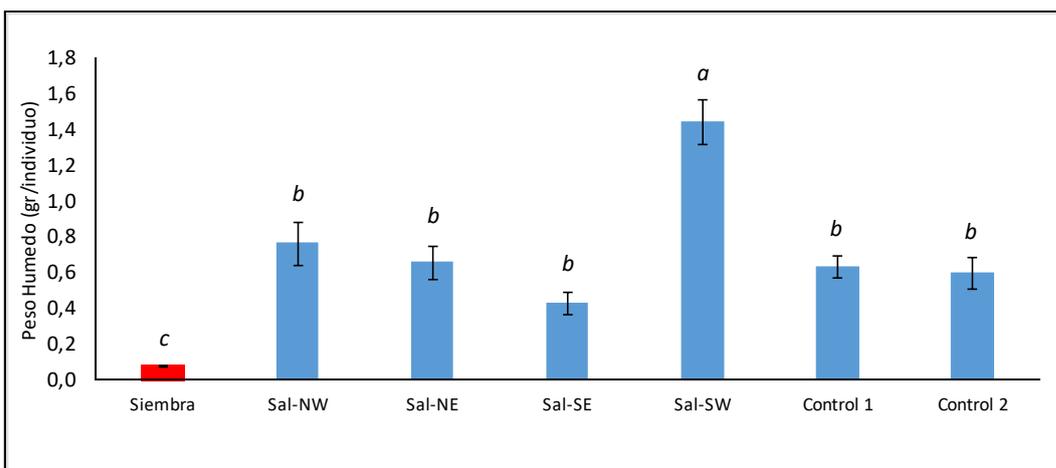
**Figura 71.-** Longitud de valva de los choritos sembrados versus las longitudes de valvas registradas en la cosecha. Promedio de la sub-muestra. La Prueba HSD de Tukey (95%) indica que los datos se pueden diferenciar estadísticamente en 3 grupos (a, b y ab). (ver metodología).

Respecto al peso total por individuo de los choritos sembrados versus los cosechados (Figura 72), la ganancia en peso durante el periodo de cultivo fue significativamente superior para todos los tratamientos en comparación al peso de siembra. Sin embargo, el peso a cosecha de todos los tratamientos no fue significativamente diferente, excepto para los choritos cultivados en el sector SW del módulo de cultivo de salmón, al igual que lo observado para longitud de valva.



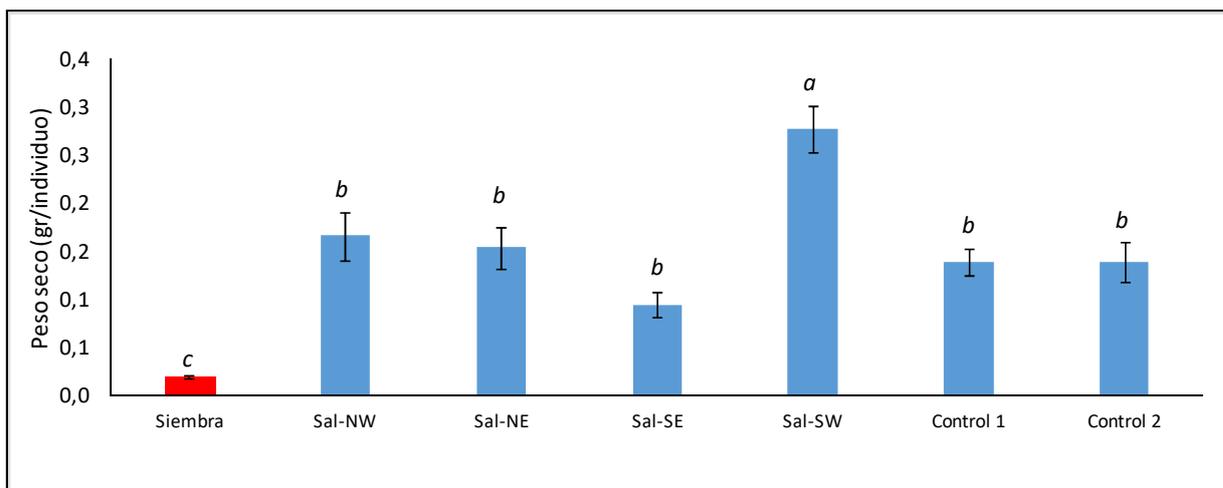
**Figura 72.-** Peso total de los chorritos sembrados versus los pesos registrados en la cosecha. La Prueba HSD de Tukey (95%) indica que los datos se pueden diferenciar estadísticamente en 3 grupos (a, b y ab) (ver metodología).

La evaluación de la respuesta productiva experimental de los chorritos en función del peso húmedo de la carne por individuo, indica que hubo un crecimiento significativamente superior en todos los cultivos respecto a su peso húmedo inicial (siembra). Sin embargo, no hubo diferencias significativas del peso húmedo de la carne por individuo entre los tratamientos, excepto para los chorritos co-cultivados con salmones en el sector SW del módulo de cultivo de salmón (Figura 73)



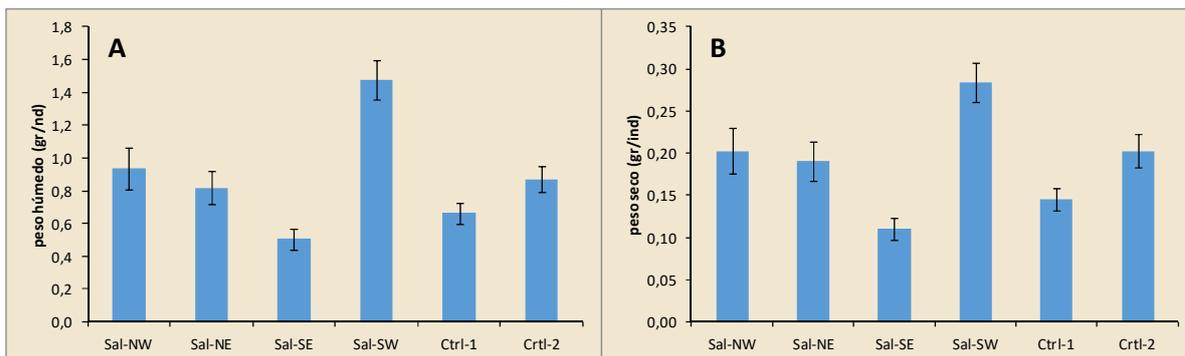
**Figura 73.-** Peso húmedo promedio por individuo de los chorritos sembrados versus los pesos húmedos individuales en la cosecha. La Prueba HSD de Tukey (95%) indica que los datos se pueden diferenciar estadísticamente en 3 grupos (a, b y ab).

La evaluación de la respuesta productiva experimental de los choritos en función del peso seco de la carne por individuo, indica que hubo un crecimiento significativamente mayor en todos los cultivos respecto a su peso seco inicial (siembra), siendo significativo este crecimiento en peso seco en los choritos co-cultivos con salmónes en el sector SW del módulo de cultivo de salmón (Figura 74)



**Figura 74.-** Peso seco promedio por individuo de los choritos sembrados versus los pesos secos individuales en la cosecha. La Prueba HSD de Tukey (95%) indica que los datos se pueden diferenciar estadísticamente en 3 grupos (a, b y ab).

Como una forma de evaluar la alternativa de que la mayor presencia de tallas juveniles o restos de semilla incidan en el promedio a cosecha inferior de los tratamientos y controles en relación con los choritos del sector SW del módulo, se filtró los datos de peso húmedo y seco de las clases de talla inferiores a 1,60 cm (1,30-1,59 cm) y se observa (Figura 74A) que el peso húmedo y seco promedio de los choritos del sector SW son significativamente superiores a los demás tratamientos y controles.



**Figura 74a.-** Peso húmedo (A) y peso seco (B) promedio por individuo de los choritos cultivados en los sitios controles y asociados al cultivo de salmones. Se filtraron los datos de los individuos inferiores a 1,6 cm.

En consideración a la hidrodinámica del sector donde se realizaron los experimentos, las corrientes de marea tenían una dirección casi constante hacia el sur, desplazándose en forma longitudinal al centro de cultivo, es decir, las aguas pasaban a través de todo el módulo, impactando siempre la cabecera norte del conjunto de jaulas y saliendo predominantemente por el lado Sur Este del módulo. El promedio de velocidad de la corriente, considerando periodos de sicigias y cuadraturas, fue de 30 cm/s, fluctuado en promedio entre 20 y 40 cm/s. Las máximas velocidades registradas fueron de aproximadamente 70 cm/s.

Bajo estas condiciones y los cultivos de choritos instalados a 20 m de las jaulas, se esperaba un crecimiento significativamente mayor en los bivalvos ubicados en el sector SE, por donde salía la mayor parte del flujo de agua. Sin embargo, el mayor crecimiento se registró en el lateral opuesto, sector Sur Weste, donde la corriente era relativamente menor, pero constantemente fluyendo de norte a sur, de manera tal que, teóricamente, ofrecía la mayor cantidad de nutrientes particulados y disueltos a los choritos y algas co-cultivadas, respectivamente, en la cabecera sur del módulo.

Una posible respuesta a la causa de un menor crecimiento del esperado en los choritos cultivados en el sector SE es que, junto con fluir una mayor cantidad de nutrientes particulados y disueltos por ese sector, también circulaba una mayor cantidad de lípidos y residuos de tratamientos a los salmones, que pudieron inhibir su potencial de crecimiento teórico.

#### **3.2.2.4.- Análisis asociado a costos que implica la instalación y operación de un sistema de cultivo experimental de moluscos filtradores y macroalgas asociados a un cultivo de salmónidos.**

Como se analiza en más detalle en la Sección 3.3.1, los mitilidos pueden alternar entre dos diferentes estrategias para sacar máxima ventaja del POM disponible (Bayne, et al., 1993; Arifin & Bendell-Young, 1997). Cuando la Materia Particulada Suspendida (SPM) es alta, eligen de preferencia las partículas con un alto contenido orgánico antes de elegir las con menor contenido orgánico e inorgánico. Cuando la concentración de partículas es baja no hay selección, incluso si tienen bajo contenido orgánico (OC) los mitilidos se alimentan tanto de materia orgánica como de inorgánica.

Así, como muchos estudios indican que hay un mayor crecimiento de los mitilidos cultivados en las cercanías de sistemas de jaulas de cultivos de peces (Lander, et al., 2004; Peharda, et al., 2007; Sarà, et al., 2009), otros no han podido demostrar dicho efecto (Cheshuk, et al., 2003; Navarrete-Mier, et al., 2010), sugiriendo que la distancia desde los centros de cultivo no influye sustancialmente sobre la disponibilidad de alimento y el crecimiento. Por otro lado, también se señala que los mitilidos incorporan y utilizan para su crecimiento en forma más eficiente los residuos de pellet (“finos”) que las fecas de salmones (Handå, et al., 2012).

Según algunos estudios, los mitilidos pueden filtrar partículas de 5  $\mu\text{m}$  hasta un máximo de 5.000  $\mu\text{m}$ . Otros trabajos indican un rango de 3  $\mu\text{m}$  (Møhlenberg & Riisgård, 1979) a 1000  $\mu\text{m}$  (Newell & Jordan, 1983). Generalmente, se considera que se alimentan en primer lugar de las clases de tamaño más pequeñas. Las partículas que salen de las jaulas de salmones varían de < 1  $\mu\text{m}$  (v.g. partículas individuales) hasta por encima de los 20 mm (v.g. pellets de salmones y emisiones fecales), una diferencia de 5 órdenes de magnitud. Se piensa que la mayor parte de la carga (en masa) excede el rango de tamaño de filtración de los mitilidos (Cranford, et al., 2013; DFO, 2013; Reid, et al., 2013).

Si sólo el 10% de la biomasa de materia orgánica proveniente del centro de cultivo de peces cae dentro de este rango, los mitilidos serán incapaces de filtrar la materia orgánica restante y la tarea debiera ser asumida por otras especies.

Por otro lado, nuestros resultados de crecimiento de los mejillones cultivados en asociación con un cultivo de salmones no mostraron diferencias significativas con los cultivos controles.

Para evaluar el potencial de producción de macroalgas cultivadas en asociación con centros de cultivo de salmones en sistemas de mar abierto, se asume que 10 a 30% del total de DIN liberado del cultivo de salmones puede ser asimilado por las macroalgas. Abreu, et al. (2009) informan de tasas de remoción de 0,0075 kg N/m lineal/mes para líneas de cultivo instaladas a 100 m y de 0,0093 kg N/m lineal/mes a 800 m del centro de cultivo de salmónidos. Para efectos de cálculos en nuestro trabajo, se consideró una tasa de remoción de 0,008 kg N/m lineal/mes.

Para la determinación de los costos totales asociados a la instalación de un sistema de cultivo IMTA en las inmediaciones de un centro productor de salmones, se consideró los costos de una línea de choritos y algas en cada cabecera del centro productor de salmones. Debido a que los cultivos tradicionales de choritos pueden filtrar fecas y pseudo-fecas provenientes de sistemas de cultivo de salmones sólo en las inmediaciones del módulo, no se consideró aumentar el número de longline de esta especie. También se estima los costos de una unidad de producción estándar de 20 hectáreas de cultivo de pelillo en sistema suspendido, para así disminuir el error en la proyección de los costos al realizar el escalamiento. Para la estimación de costos totales se considera recursos humanos, infraestructura, equipos y el material biológico para la siembra (semilla) y la operación de las instalaciones de tierra y mar.

El costo de implementación de una línea de choritos y algas en ambas cabeceras del centro asciende a \$12 millones, lo que considera recursos humanos, infraestructura, equipos y el material biológico. Los costos asociados a la instalación del cultivo alcanzan

los \$3.2 millones, por lo que al incrementar el número de líneas se podría incrementar la rentabilidad del cultivo.

El diseño IMTA propuesto considera la implementación de tantos cultivos de pelillo como sean necesarios para disminuir la concentración de DIN proveniente del centro. Los costos en la implementación de un centro productor de pelillo de 20 hectáreas ascienden a \$305 millones, lo que considera recursos humanos, infraestructura, equipos y el material biológico (ANEXO XIX).

Los cálculos se realizaron para 5 escenarios de remoción de DIN generado por un centro productor de salmónes en un año (100%, 75%, 50%, 30% y 10%), en 30, 45 y 60 días de cultivo de pelillo. Después de 60 días, el pelillo puede comenzar a cortarse debido a la fuerza de la corriente, por lo cual se consideró este lapso como horizonte en la proyección de cálculos (Tabla 7a).

Para la remoción del 100% del DIN en 60 días de cultivo de pelillo, se requiere implementar un área de 13.036.125 metros lineales de cultivo vegetativo de pelillo. Esta cantidad puede ser instalada en 13.063 long-line de 100 metros, los que abarcarían un área total de 1.043 hectáreas. Se requeriría de 52 centros productores de pelillo de 20 hectáreas, los que consideran un costo en la instalación y operación de \$15.889 millones.

Al realizar más de un ciclo de producción de 60 días el tamaño del escalamiento puede disminuir considerablemente. Por ejemplo, si se realizan dos ciclos productivos, el área requerida sería de la mitad y en la segunda siembra se usaría la infraestructura instalada en el mar (longline) de la primera siembra, lo que reduciría los costos de la segunda siembra a un tercio de la primera siembra.

Tabla 7a. Costo de la implementación del sistema de cultivo de pelillo suspendido en 5 escenarios de remoción de DIN.

Remoción 100% del DIN	
208.578	kg DIN

Duración cultivo	Cantidad de <i>Long-line</i>	Extensión de los cultivos (ha)	N° de Centros	Costo en MM\$
30 días	26.072	2.086	104	31.777
45 días	17.382	1.391	70	21.185
60 días	13.036	1.043	52	15.889

Remoción 75% del DIN	
156.434	kg DIN

Duración cultivo	Cantidad de <i>Long-line</i>	Extensión de los cultivos (ha)	N° de Centros	Costo en MM\$
30 días	19.554	1.564	78	23.833
45 días	13.036	1.043	52	15.889
60 días	9.777	782	39	11.916

Remoción 50% del DIN	
104.289	kg DIN

Duración cultivo	Cantidad de <i>Long-line</i>	Extensión de los cultivos (ha)	N° de Centros	Costo en MM\$
30 días	13.036	1.043	52	15.889
45 días	8.691	695	35	10.592
60 días	6.518	521	26	7.944

Remoción 30% del DIN	
62.573	kg DIN

Duración cultivo	Cantidad de <i>Long-line</i>	Extensión de los cultivos (ha)	N° de Centros	Costo en MM\$
30 días	7.822	626	31	9.533
45 días	5.214	417	21	6.355
60 días	3.911	313	16	4.767

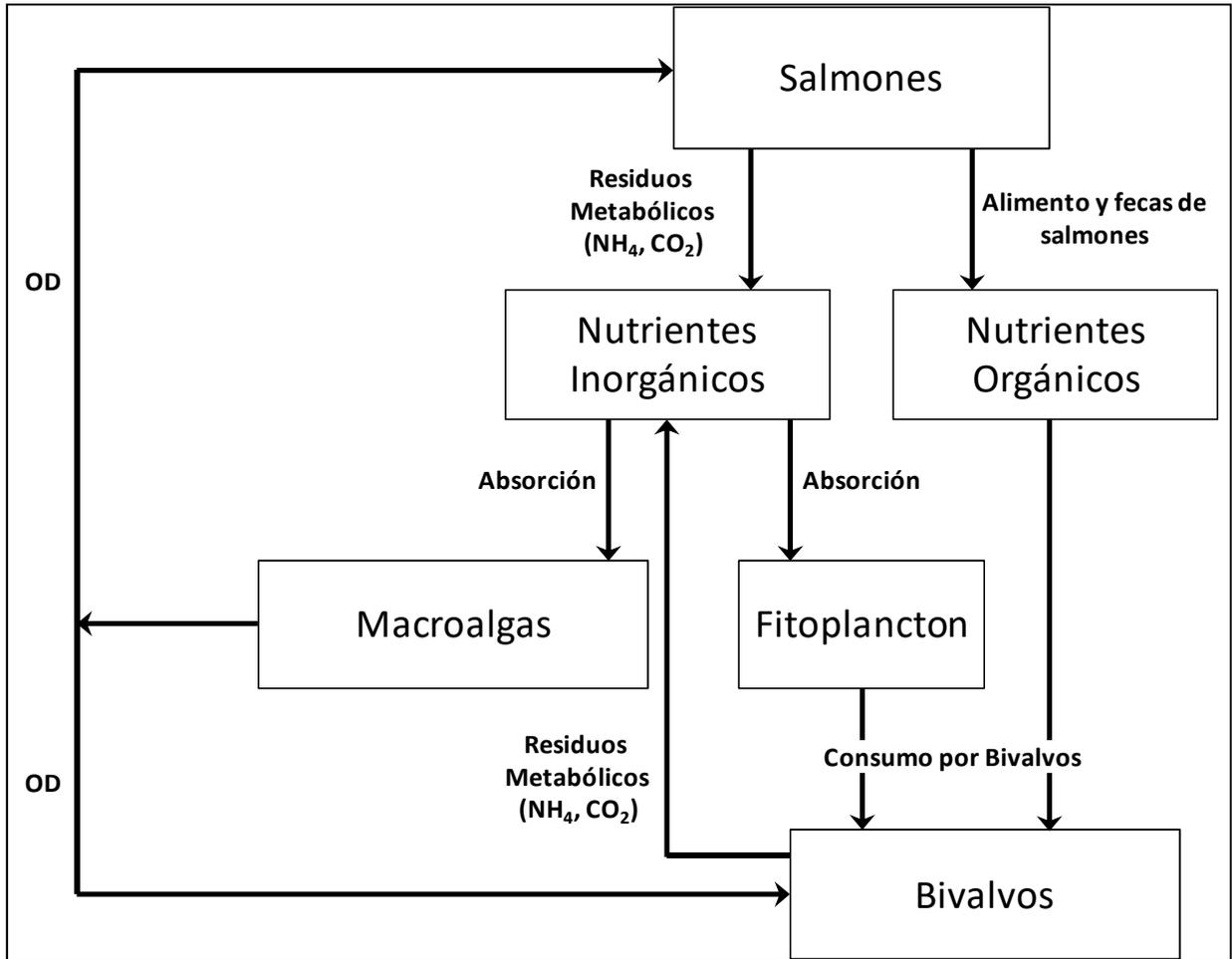
Remoción 10% del DIN
20.858 kg DIN

Duración cultivo	Cantidad de <i>Long-line</i>	Extensión de los cultivos (ha)	N° de Centros	Costo en MM\$
30 días	2.607	209	10	3.178
45 días	1.738	139	7	2.118
60 días	1.304	104	5	1.589

**3.3.- Objetivo 3. Realizar un análisis de toda la información teórica existente referida al modelo teórico de traspaso de energía y nutrientes entre los tres grupos, incluidos cálculos y capacidades de remoción del medio.**

Se ha propuesto a la Acuicultura Multi-Trófica Integrada (IMTA) como una solución al enriquecimiento con nutrientes generado por el cultivo intensivo de peces. Con el fin de evaluar el potencial de la IMTA como método de bio-remediación de nutrientes, es esencial conocer la proporción de alimento que requiere cada organismo extractivo y la proporción de nutrientes residuales que será capaz de extraer. Esta proporción depende de las especies que componen el sistema multitrófico, de las condiciones ambientales y de las prácticas de producción en un sitio objetivo. Para esto se requiere generar un modelo de flujo de nutrientes, que en nuestro caso corresponde a tres modelos de crecimiento: salmón del Atlántico, *Mytilus chilensis* y dos especies de macroalgas.

Los grupos de especies propuestas para ser incorporadas en estrategias de Cultivos Multi-Tróficos Integrados (IMTA), se pueden clasificar de acuerdo al tipo de nutrientes que utilizan. Por ejemplo, los salmónidos en cultivo excretarán Nutrientes Inorgánicos Solubles (v.g. amonio, fosfato), generarán finas partículas orgánicas suspendidas (v.g. fecas y 'finos' de alimento) que sedimentarán lentamente, como también material orgánico de mayor tamaño que se hundirá más rápido (v.g. restos de alimento peletizado y fecas). Consecuentemente, las especies que extraen compuestos inorgánicos tales como las macroalgas pueden ser destinadas a extraer nutrientes solubles. Las especies que extraen materia orgánica tales como los moluscos bivalvos se pueden destinar principalmente para la extracción de partículas finas suspendidas y los depositívoros (que involucra varias especies de invertebrados y peces) pueden orientarse a la extracción de partículas más grandes (Figura 74B).



**Figura 74 b.** Modelo conceptual que muestra el flujo de materia y energía en un Cultivo Multi-Trófico Integrado de Salmónes, Bivalvos y Macroalgas

### 3.3.1.- Modelo Bioenergético para Mitílicos

Los principales factores que influyen sobre el crecimiento y estado de condición de los bivalvos son la Tasa de Ingestión y Asimilación del alimento (Bayne, et al., 1987; Bayne, et al., 1989). Además, la filtración y metabolismo de los bivalvos está fuertemente determinada por las fluctuaciones de la temperatura, salinidad, disponibilidad y composición del alimento.

El modelo bio-energético de los mitílicos permite describir la utilización que hacen del fitoplancton e incluye la tasa de filtración, alimento ingerido y asimilado efectivamente y la proporción destinada para el crecimiento y reproducción, permitiendo hacer una estimación del crecimiento y condición de los mitílicos.

La dinámica de los componentes fisiológicos en un balance de energía neta, son:

**BEN** = Balance de Energía Neta: (Ganancia de Energía) – (Pérdidas de Energía)

$$\mathbf{BEN = C - (F + E + R)}$$

Donde:

**C**= Energía Ingerida (tasa de alimentación)

**F**= Energía Egestada (feces)

**E**= Energía Excretada (amonio)

**R**= Energía Consumida (pérdidas energéticas)

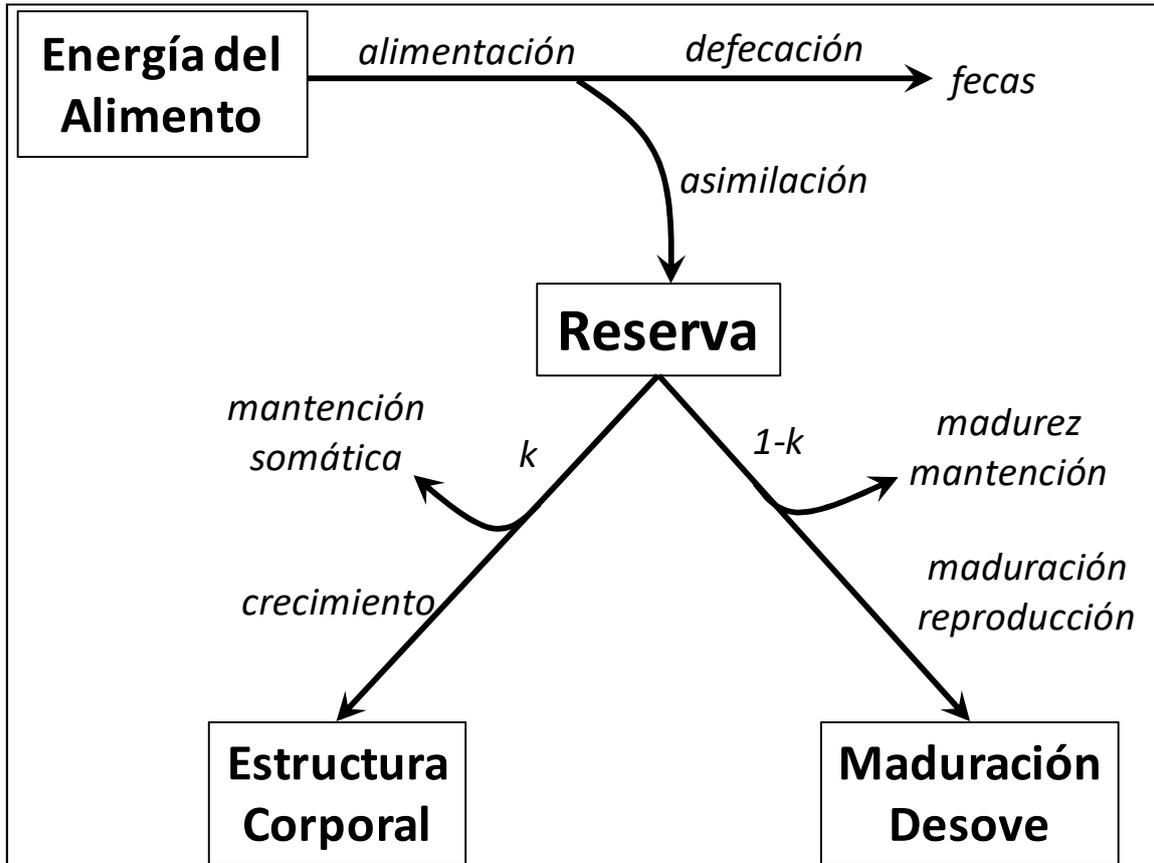
El crecimiento de los moluscos bivalvos es altamente adaptable a una amplio rango de temperaturas y variedad de dietas, haciéndolos muy exitosos como especie de cultivo (Barrington, et al., 2009). Los bivalvos incorporan energía mediante la filtración de partículas suspendidas tales como fitoplancton y detritus (Reid, et al., 2010; Sarà, 2006; Sarà, 2007). Se han descrito para las inmediaciones de los centros de cultivo de salmónidos, gradientes de nutrientes orgánicos particulados (Gao, et al., 2006), nutrientes inorgánicos solubles (Sanderson, et al., 2008; Yokoyama & Ishihi, 2010) y fitoplancton,

aunque a menudo con amplias variaciones espaciales y temporales (Dalsgaard & Krause-Jensen, 2006; Sarà, et al., 2009; Sarà, et al., 2011).

En sistemas de Acuicultura Multi-Trófica Integrada instalados en ambientes marinos expuestos, los bivalvos filtradores que son cultivados en las inmediaciones de los centros de cultivo de salmones se benefician potencialmente de las partículas orgánicas sólidas (fecas y restos de alimento) provenientes del cultivo de peces, como también de un proceso subsecuente donde la carga de nutrientes solubles (amonio, fosfato) favorecen el aumento de la producción primarias (Sarà, et al., 2012).

Estas dos posibles alternativas de aumento de la oferta alimentaria para los mitilidos en un sistema IMTA, dependerá de varios factores tales como el nivel de producción del centro de cultivo de salmónidos, escala temporal (periodo de respuesta de la producción primaria a una carga de nutrientes, que puede variar desde horas a días), concentraciones de nutrientes en el ambiente, temperatura y la hidrodinámica (Troell, et al., 1999a).

La modelación del crecimiento y distribución de la energía en los bivalvos facilita la predicción de la cantidad de energía asimilada y asignada a las diferentes necesidades, tales como, crecimiento, desarrollo y reproducción, bajo condiciones ambientales fluctuantes, conociendo la concentración de alimento y temperatura ambiental (Figura 75).



**Figura 75.** Representación esquemática del Modelo DEB de la regla-K. Una porción del material ingerido se asimila (absorbido) y el indigestible se pierde como heces. Los productos asimilados entran al compartimento de reservas. Una fracción ( $k$ ) de las reservas se gasta en mantención y crecimiento (siendo la mantención una prioridad), el resto se destina a madurez (para el caso de embriones y juveniles), reproducción (para los adultos) y mantención de la madurez (modificado de Sarà et al., 2012).

### 3.3.1.1.- Crecimiento de los mitilidos y oferta alimentaria

La Clorofila-a, es un proxy para la biomasa de fitoplancton y es uno de los cuantificadores de alimento más confiables para usar en la evaluación de la oferta alimentaria para los mitilidos. Con este parámetro se puede evaluar si el crecimiento de mitilidos cultivados en las cercanías de un centro de cultivo de salmones, se debe al consumo de nutrientes particulados provenientes de esta actividad o es el resultado del aumento localizado de productividad primaria, por consumo de nitrógeno soluble (DIN) o la re-mineralización de la materia orgánica.

Lo anterior no quiere decir que el consumo directo de partículas fecales o de alimento de los salmones no pueda contribuir al crecimiento de los mitilidos, sino que bajo estas condiciones particulares de cultivo, la principal fuente de alimento sería el fitoplancton (Sarà, et al., 2012).

En un estudio realizado por Sarà et al. (2012), se encontró que el incremento en longitud de mejillones cultivados cerca de jaulas de cultivo de peces respecto a aquellos cultivados en sitios controles alejados del cultivo de peces fue de 55% y 46%, respectivamente. Se sugiere que los sólidos orgánicos suspendidos provenientes del cultivo de peces no tuvieron un impacto significativo sobre la diferencia de crecimiento de los mitilidos cultivados cerca de las jaulas de peces, ya que se estima que las partículas en suspensión generadas del cultivo de peces sedimentan mucho antes de alcanzar los sitios de cultivo de mitilidos.

### **3.3.1.2.- Selección de partículas, parámetros de alimentación y utilización de nutrientes**

El fitoplancton es una componente natural del seston que es seleccionada por los mitilidos antes de su ingestión, con una selección posterior respecto a diferentes especies de plancton y otras partículas orgánicas e inorgánicas (Bougrier, et al., 1997; Prins, et al., 1991; Rouillon & Navarro, 2003). Se estima que la tasa de ingestión puede llegar hasta los 12,7 mg PS de materia orgánica por hora por gramos de peso seco de mejillón. Se han registrado Eficiencias de Retención (RE) de 100% para partículas de tamaño 4-90  $\mu\text{m}$  (Riisgard, 1998), mientras que otros trabajos informan de un 90% RE para partículas mayores a 3  $\mu\text{m}$  (Møhlenberg & Riisgård, 1979; Vahl, 1972), un 82% RE para partículas de 2  $\mu\text{m}$  y 57% RE para partículas inferiores a 1,6  $\mu\text{m}$  (Lucas, et al., 1987).

Las concentraciones de seston y su contenido orgánico (OC), definido como la fracción de Materia Orgánica Particulada (POM) del total de la Materia Particulada Suspendida (SPM), es una variable alimentaria que afecta el excedente de energía para el crecimiento (Bayne, et al., 1987; Navarro, et al., 2003; Hawkins, et al., 1997). Se considera como aguas oligotróficas aquellas con bajo contenido de seston ambiental en términos de clorofila-a

(Aure, et al., 2007), cuyas concentraciones de clorofila-a son por lo general bajas ( $<1-2 \mu\text{m L}^{-1}$ ) después de los afloramientos de primavera debido a la limitación de nutrientes (Frette, et al., 2004).

Altas concentraciones de Materia Inorgánica Particulada (PIM) pueden diluir el OC (contenido orgánico), llevando a una reducción en la calidad del alimento, tasa de filtración, eficiencia de absorción (AE) y crecimiento (Widdows, et al., 1979; Bayne, et al., 1987; Navarro, et al., 2003; Iglesias, et al., 1996).

El Contenido Orgánico (OC), particularmente el contenido de Carbono, es un parámetro alimentario que determina en gran medida la cantidad de energía disponible para el crecimiento (Bayne, et al., 1987; Hawkins, et al., 1997), y puesto que los mitilidos han mostrado la misma Eficiencia de Alimentación (AE) para el Fósforo Orgánico Particulado (POP), Nitrógeno Orgánico Particulado (PON) y el Carbono Orgánico Particulado (POC), sus tasas de crecimiento dependerán de la composición de nutrientes de la Materia Orgánica Particulada (POM) absorbida y de cómo ésta satisface los requerimientos de los mitilidos (Hawkins, et al., 1997).

Los mitilidos pueden alternar entre dos diferentes estrategias para sacar máxima ventaja del POM disponible (Bayne, et al., 1993; Arifin & Bendell-Young, 1997). Cuando la Materia Particulada Suspendida (SPM) es alta, las partículas con un alto contenido orgánico son elegidas de preferencia antes de elegir aquellas con menor contenido orgánico e inorgánico, dando como resultado un aumento de la porción orgánica del alimento. Las Partículas Inorgánicas son empaquetadas en mucus y desechadas como **pseudo-fecas** en cantidades crecientes, con una concentración reducida de POM (Iglesias, et al., 1996). Sin embargo, cuando la concentración de partículas es baja no hay selección, incluso si tienen bajo contenido orgánico (OC), alimentándose los mitilidos tanto de materia orgánica como de inorgánica. Se considera que la Materia Inorgánica Particulada (PIM) pasa al sistema digestivo sin ser absorbido, mientras que la Materia Orgánica Particulada (POM) solo pasa si su contenido orgánico es muy alto (Prins, et al., 1991).

### **3.3.1.3.- Capacidad Bio-remediadora de los Mitilidos en Sistemas IMTA**

De acuerdo a la revisión bibliográfica, existe una tendencia a señalar que falta información sobre el impacto de los residuos particulados generados por los cultivos de salmones sobre el crecimiento de mitilidos (MacDonald, et al., 2011). Así, como muchos estudios indican que se observa un mayor crecimiento de los mitilidos cultivados en las cercanías de sistemas de jaulas de cultivos de peces (Lander, et al., 2004; Peharda, et al., 2007; Sarà, et al., 2009), otros no han podido demostrar dicho efecto (Cheshuk, et al., 2003; Navarrete-Mier, et al., 2010), sugiriendo más bien que la distancia desde los centros de cultivo no influye sustancialmente sobre la disponibilidad de alimento y el crecimiento.

Trabajos anteriores han sugerido varias explicaciones posibles para la falta de una respuesta clara en el crecimiento de los mitilidos cultivados en las inmediaciones de un centro de cultivo de peces: **a)** los residuos particulados generados desde un cultivo de peces no aportan en forma significativa al aumento de la concentración de seston por sobre los niveles ambientales, **b)** las concentraciones de seston ambiental permanecen consistentemente por sobre el nivel umbral de pseudo-fecas, limitando así el potencial de un mayor crecimiento de los mitilidos derivado del consumo de residuos de peces (Cheshuk, et al., 2003), **c)** la respuesta de filtración de los mitilidos es demasiado lenta como para adaptarse al régimen de alimentación en pulsos utilizada en el centro de cultivo de peces, vinculado también a **d)** efluentes no uniformes provenientes del centro de cultivo de salmones, permiten a los mitilidos ingerir residuos particulados sólo cuando las concentraciones naturales de seston son escasas, y **e)** las diferencias espaciales y temporales en las condiciones hidrodinámicas entre sitios, como también los diseños experimentales difieren de forma tal que dificultan la obtención de conclusiones inequívocas para el concepto de IMTA (Troell & Norberg, 1998; Troell, et al., 2009). Por otro lado, también se señala que los mitilidos incorporan y utilizan para su crecimiento en forma más eficiente los residuos de pellet (“finos”) que las fecas de salmones (Handå, et al., 2012).

#### **3.3.1.4.- Los Mitilidos y su potencial como bio-remediador**

Como se señala más arriba, los mitilidos son capaces de utilizar para su crecimiento de manera más eficiente los residuos de alimentos de los salmones (“finos”) que las fecas. Es por esto que, a escala industrial, se recomienda considerar las capacidades bio-remediadoras de los mitilidos cuando se tome en cuenta estos antecedentes (DFO, 2013).

A escala regional, los mitilidos pueden contribuir a balancear las concentraciones de nutrientes, por ejemplo, en los sistemas de canales y fiordos, mediante la filtración o extracción de fitoplancton que ha acumulado N antropogénico derivado del cultivo de salmónidos.

Basado en los resultados, se sugiere dos estrategias para el crecimiento potencial de mitilidos asociado a salmones en IMTA, dependiendo de si la localización es protegida o expuesta. Los sitios protegidos, como fiordos, canales y bahías, etc., con corrientes de baja velocidad, corrientes uniformes y un larga periodo de retención de aguas, tienen el potencial de incrementar el crecimiento fitoplanctónico dentro de los sistemas IMTA. Sin embargo, las corrientes de baja velocidad son una desventaja porque los residuos se hundirán más rápidamente bajo las jaulas de peces, transformándose de este modo en una baja contribución para el crecimiento de los mitilidos en dichos sitios. Por otro lado, las partículas de alimento en sitios expuestos representarán una parte importante del alimento disponible para los mitilidos, aunque las corrientes diluirán y transportarán los nutrientes residuales a grandes distancias y de manera tan rápida que el crecimiento del fitoplancton ocurrirá fuera de los límites del sistema IMTA (DFO, 2013).

Un cuidadoso monitoreo de los niveles  $Cl-a$ , en combinación con la modelación de las condiciones de las corrientes locales y el correspondiente patrón de dispersión de nutrientes corriente abajo del sitio de cultivo, puede ser una herramienta útil para localizar áreas potenciales de alta productividad con significativo crecimiento de fitoplancton a cierta distancia del centro de cultivo. La producción de mitilidos en dichas áreas tiene el potencial de contribuir a la mitigación de manera similar al tradicional IMTA,

tomando en consideración la **remoción indirecta** de nutrientes liberados del cultivo de salmones, aunque de manera indirecta (Cranford, et al., 2013).

Dado que los mitilidos utilizan los residuos de alimento de manera más eficiente que las fecas de salmones, y que los residuos de alimento probablemente constituyan menos del 5% de alimento usado en los modernos centros de cultivo de salmones, la alternativa de usar mitilidos para la regeneración de nutrientes y servicios de bio-remediación en IMTA tiene que ser analizada con cuidado. En contraste, los grandes centros de cultivo de salmones estarían produciendo por lo general 12.000 ton de peces, con un correspondiente uso de alimento de 13.800 ton (FCR= 1,15) y una pérdida teórica de alimento de un 5%, constituye 690 ton de partículas o 345 ton de POC derivado de un solo centro de cultivo (Cranford, et al., 2013).

¿La Acuicultura Multi-Trófica Integrada (IMTA) ayuda a reducir la carga de materia orgánica (por lo general carbono orgánico) que se deposita sobre el fondo marino en un sitio de cultivo?

Está claro que como consecuencia del cultivo de salmones en jaulas se genera materia orgánica que se acumula sobre el fondo marino o en la columna de agua alrededor del sitio de emplazamiento de las jaulas. La pregunta es si aumenta o disminuye la carga orgánica con la inclusión de una nueva especie extractiva al sistema de cultivo. Los mitilidos, junto con consumir una fracción de los residuos orgánicos generados por los salmones, también contribuyen con heces a la carga orgánica total (DFO, 2013).

Las estimaciones de los modelos fisiológicos sugieren que los sólidos provenientes del cultivo de salmones (v.g. heces y alimento desechado) tendría que representar al menos un 10-20% de la dieta total de los mitilidos antes que empiece a contribuir a una disminución neta de la carga orgánica proveniente de un sitio IMTA. Es así como se ha considerado que, basado en los datos de crecimiento comparado entre mitilidos cultivados en las inmediaciones de jaulas con salmones versus sitios controles, es posible esta contribución. Sin embargo, se considera poco probable que un sistema IMTA que use sólo bivalvos filtradores que se alimentan de partículas finas puedan reducir de manera

significativa la carga de Materia Particulada Total (TPM) en los sitios de cultivo, puesto que la mayor parte de la carga orgánica está contenida en partículas demasiado grandes como para que las consuman los mitilidos. La información que existe a la fecha es insuficiente para evaluar la habilidad de los mitilidos incluidos en un IMTA para reducir la carga orgánica directamente y los impactos subsecuentes en el bentos bajo los sitios de cultivo (Cranford, et al., 2013; Reid, et al., 2013).

Existe poca información disponible sobre la proporción de la carga de partículas totales generadas por un cultivo de peces que está dentro del rango de tamaño que filtran los mitilidos. Esto complica la posibilidad de evaluar en forma adecuada la efectividad de los mitilidos en sistemas IMTA, considerando que no se sabe cuánto de la carga total está disponible para ellos basados simplemente en los requerimientos de tamaño. Los mitilidos pueden filtrar partículas de 5  $\mu\text{m}$  hasta un máximo de 5.000  $\mu\text{m}$ , aunque generalmente se considera que se alimentan en primer lugar de las clases de tamaño más pequeñas. Las partículas que salen de las jaulas de salmones varían de < 1  $\mu\text{m}$  (v.g. partículas individuales) hasta por encima de los 20 mm (v.g. pellets de salmones y emisiones fecales), una diferencia de 5 órdenes de magnitud. Se piensa que la mayor parte de la carga (en masa) excede el rango de tamaño de filtración de los mitilidos (Cranford, et al., 2013; DFO, 2013; Reid, et al., 2013).

#### **3.3.1.5.- Proporción nutricional de los sólidos provenientes del cultivo de peces requeridos por los mitilidos para reducir la carga orgánica neta**

A continuación, se desarrolla un procedimiento para estimar la proporción nutricional de sólidos provenientes del cultivo de peces requeridos por los mitilidos para reducir la carga orgánica neta en un sistema de Acuicultura Multi-Trófica Integrada en ambientes marinos abiertos. El ejercicio supone el co-cultivo de salmón del Atlántico (*S. salar*) y el mejillón (*M. edulis*).

La implementación e instalación de un sistema de Cultivo Multi-Trófico Integrado (IMTA) que considere líneas de bivalvos filtradores (mitilidos) en las inmediaciones de un centro de cultivo de salmones implica que una cierta cantidad de seston, que en ausencia de los mitilidos pasaría sin depositarse como carga orgánica, ahora se depositará en el fondo marino; esto debido a que, por su pequeño tamaño, baja velocidad de sedimentación y la hidrodinámica del sector, se dispersaría lejos del área del cultivo de salmones. En presencia de líneas de cultivo de mitilidos este seston sería re-direccionado hacia el bentos como materia orgánica no digerible en la forma de fecas. Esta situación lleva a preguntar: ¿la inclusión de un cultivo de mitilidos en un sistema IMTA se traducirá en una remoción o adición de materia orgánica al sistema? (Reid, et al., 2013).

Las eficiencias en los sistemas IMTA son, en parte, una función de las proporciones o tasas de la producción de especies extractivas versus la producción en los Niveles Tróficos Alimentarios (FTL, Nivel Trófico Superior). Estos aspectos afectan la proporción de carga total del Nivel Trófico Superior (en este caso el salmón) que será consumida por las especies extractoras de materia orgánica (o absorbidas por especies extractoras de materia inorgánicas en el caso de las macroalgas). En trabajos previos publicados por Reid et al (2010) se comparó varias dietas y contenidos orgánicos de las fecas resultantes y eficiencias de absorción (fracción de la materia orgánicas digerida) para mitilidos alimentados con dietas naturales y dietas provenientes de cultivos de salmones. Si se conoce el consumo de dietas, se puede estimar la carga fecal a partir de estos parámetros, como se muestra en la Tabla 7b.

Se pueden hacer estimaciones del aumento o remoción neta de la materia orgánica por parte de los mitilidos en sistemas IMTA usando las Eficiencias de Absorción de dietas mixtas (v.g. sólidos orgánicos provenientes del cultivo de salmones y dietas naturales), asumiendo que se mantienen varios supuestos simplificadores. Un primer paso lógico es estimar la **proporción de carga orgánica proveniente del centro de cultivo que debe ser consumida por los mitilidos antes que comience a observarse una reducción neta de la carga orgánica en un sistema IMTA**. Se define a esto como **Umbral de Proporción Dietaria (DPT)**. Después que se ha identificado el **DPT** (Umbral de Proporción Dietaria) de

los mitilidos respecto de los sólidos provenientes del cultivo de salmón requeridos para alcanzar el punto de “equilibrio” de la carga orgánica neta, se puede considerar este dato como base para determinar el nivel de producción, lugar de localización y prácticas de cultivo requeridas para lograrlo.

Por lo tanto, a continuación se explica un modelo matemático simple (Reid, et al., 2013), que determina la proporción dietaria de sólidos provenientes de un cultivo de salmónes (fecas y residuos alimentarios) que deben ser consumidos por los mitilidos para alcanzar una reducción o ganancia neta de carga orgánica a nivel del sitio IMTA. Este modelo considera específicamente la influencia del consumo de fitoplancton y la calidad de las fecas de salmónes en la capacidad de remoción de materia orgánica proveniente del cultivo de salmón

### 3.3.1.6.- Modelo de transferencia de masa para mitílicos co-cultivados con salmones

Una reducción o ganancia neta de la carga orgánica en un sitio IMTA (salmones – mitílicos) depende de si la incorporación de las especies co-cultivadas se traduce en un **aumento** o **disminución** de la materia orgánica en relación con la que se podría depositar con un monocultivo de peces (Ecuación 1).

La cantidad de Materia Orgánica de un tipo de sólido en particular depende de su Contenido Orgánico (Ecuación 2).

Los sólidos del cultivo de salmón no consumidos (y su correspondiente materia orgánica) y que no son filtrados por los mitílicos (Ecuaciones 3 y 4) se suman a la carga orgánica de los mitílicos para estimar el total de carga en todo el sitio IMTA (Ecuación 5).

La carga orgánica de los mitílicos es la suma de la materia orgánica fecal generada por todas las dietas (Ecuación 6).

La carga orgánica generada por una dieta en particular es el producto de la proporción nutricional de todas las partículas (materia particulada total (TPM) y el contenido orgánico no digerido (Ecuación 7).

La eficiencia de absorción de una dieta se determina a partir de una ecuación de regresión desarrollada a partir de dietas de diferentes contenidos orgánicos (Ecuación 8).

**Ecuaciones:** Todos los cálculos de carga están expresados en unidades de masa.

#### **Reducción o Ganancia Neta en la Carga Orgánica:**

$$NOL_{sitio} = OL_{salmón} - OL_{IMTA} \quad (1)$$

Donde  $NOL_{sitio}$  es el cambio en la carga orgánica neta en todo el sitio (ganancia o reducción), masa de carga orgánica reducida o ganada debido a las prácticas IMTA;

$OL_{salmón}$  es la carga orgánica del monocultivo de salmón, masa de sólidos orgánicos del cultivo de salmón; y

$OL_{IMTA}$  es la carga orgánica del IMTA (salmón + mitilidos), carga orgánica generada en el sitio IMTA.

**Carga Orgánica del Salmón:**

$$OL_{salmón} = OC \times S_{salmón} \quad (2)$$

Donde,  $OL_{salmón}$  es la masa de carga orgánica proveniente del salmón;  $OC$  es el contenido orgánico, fracción de materia que es orgánica (entrada del modelo); y  $S_{salmón}$  son los sólidos generados por el salmón, masa de sólidos (fecas y alimento desechado) producidos por el cultivo de salmones.

**Sólidos no consumidos por el salmón:**

$$US_{salmón} = S_{salmón} - CS_{salmón} \quad (3)$$

Donde,  $US_{salmón}$  son los sólidos no consumidos por el salmón y  $CS_{salmón}$  es la masa de sólidos provenientes del salmón consumidos por los mitilidos.

**Carga Orgánica proveniente del monocultivo de salmón, no consumida:**

$$UOL_{salmón} = US_{salmón} \times OC \quad (4)$$

Donde,  $UOL_{salmón}$  es la masa de carga orgánica proveniente del monocultivo de salmón que no es consumida;  $OC$  es el contenido orgánico, fracción de materia que es orgánica.

**Carga Orgánica del Cultivo Multi-Trófico Integrado (IMTA):**

$$OL_{IMTA} = UOL_{salmón} + OL_{mitilidos} \quad (5)$$

Donde,  $OL_{mitilidos}$  es la masa de carga orgánica proveniente de las fecas de los mitilidos.

**Carga Orgánica de los Mitilidos:**

$$OL_{mitilidos} = \sum OLDiet_i \quad (6)$$

Donde,  $OLDiet_i$  es la masa de carga orgánica producida por el consumo de la dieta  $i$ .

**Carga Orgánica de la Dieta:**

$$OLDiet_i = (C_{TPM} \times Diet_{ifrac}) \times OC \times (1 - AE) \quad (7)$$

Donde, AE es la Eficiencia de Absorción,  $C_{TPM}$  es la masa de materia particulada total consumida por los mitilidos, y  $Diet_{frac}$  es la fracción consumida de TPM (Materia Particulada Total) compuesta de la  $Diet_i$ .

**Eficiencia de Absorción** (Reid, et al., 2010):

$$AE = 0,395 \times \ln OC + 0,9578 \quad (8)$$

Donde, AE es la Eficiencia de Absorción, la fracción de materia orgánica digerida.

**Tabla 7b.** Estimaciones para *Mytilus edulis* de las cargas fecales orgánicas que resultan del consumo de 100 t de varias fuentes nutricionales (Reid, et al., 2010).

Dieta	Contenido Orgánico Dieta (fracción)*	Materia Orgánica Dieta (t)	Eficiencia Absorción (fracción)	Materia Orgánica Absorbida (t)	Materia Inorgánica Fecas (t)	Materia Orgánica Fecas (t)	Contenido Orgánico Fecas (fracción)
Alimento de salmones	0,93	93	0,90	84	7	9	0,57
Fecas de Salmones	0,77	77	0,86	66	23	11	0,32
Diatomeas	0,66	66	0,81	53	34	13	0,27
Fórmula Spat	0,77	77	0,87	67	23	10	0,30
TPM	0,35	35	0,54	19	65	17	0,21

**Implementación:** El modelo se ejecuta en una planilla Excel. Las entradas del modelo son las siguientes:

- $S_{salmon}$ : Sólidos Producidos por el Cultivo de Salmones.
- $C_{TPM}$ : Materia Particulada Total Consumida por los Mitílidos.
- OC: Contenido Orgánicos de los sólidos provenientes de los Salmones y Seston.
- $Diet_{frac}$ : Proporción de Materia Particulada Total (TPM) de la Dieta proveniente de los sólidos del cultivo de Salmón.

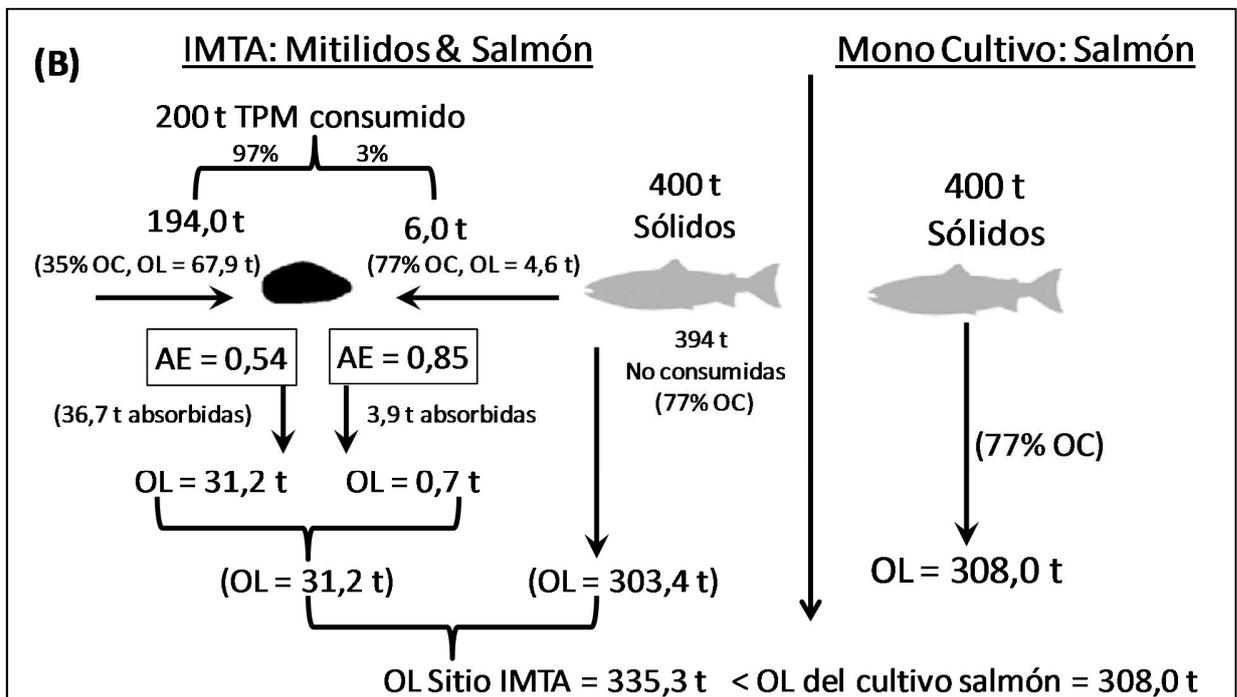
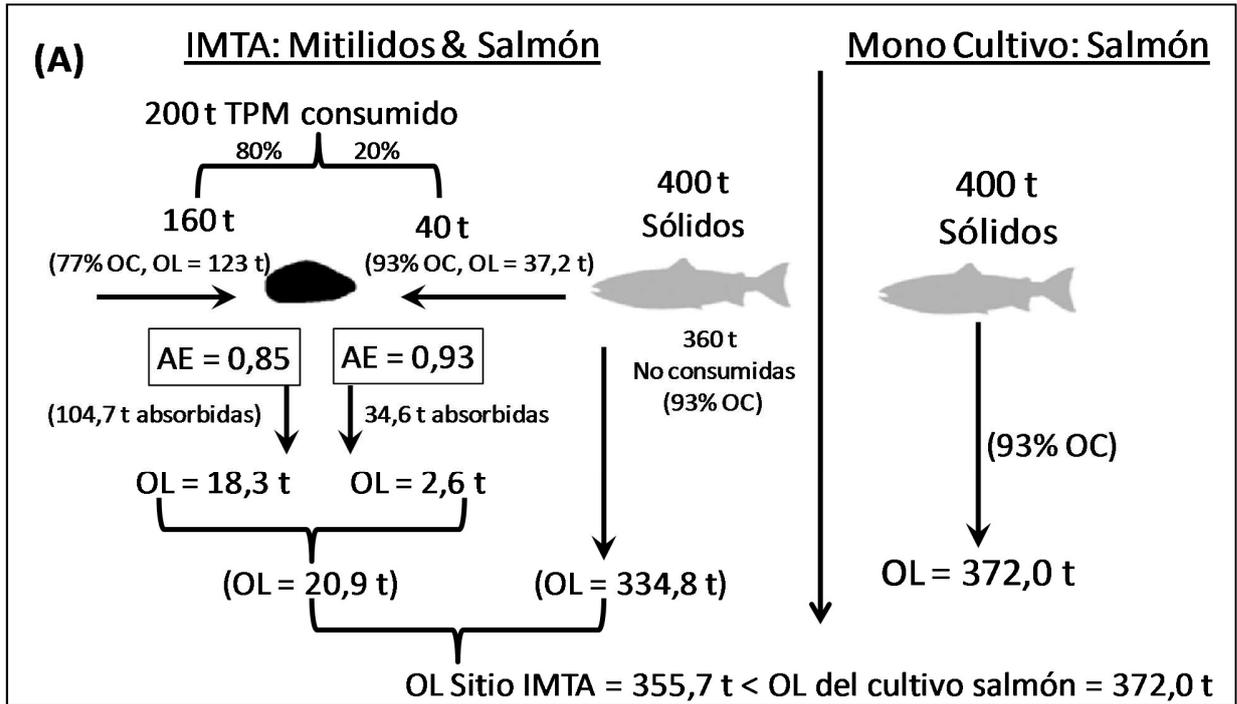
Las entradas del modelo se hacen variar aleatoriamente para observar las respuestas del modelo a una variedad de escenarios.

Para determinar el **DPT (Umbral de Proporción Dietaria)**, se corrió el modelo evaluando dietas con diferentes contenidos orgánicos (OC), según Tabla 7b: Baja Calidad del Seston (OC= 0,35, dentro del rango inferior de OC medidos en la Bahía de Fundy, Canadá), alta

calidad de Seston (OC=0,77; reflejando el cultivo de microalgas puras), fecas de salmones (OC=0,77) y finos de alimento de salmones (OC=0,93). Se probaron cuatro combinaciones de dietas de 2 dietas; cada una con 1 una dieta compuesta de sólidos provenientes del cultivo de salmones y 1 de Seston. Las simulaciones del modelo combinaron finos de alimento de salmón con seston de baja y alta calidad y, de manera similar, fecas de salmón con seston de alta y baja calidad. Para evaluar la respuesta del modelo a los cambios en la escala y para simular indirectamente las diferencias en la tasas de producción, se hizo variar el TPM consumido por los mitilidos y sólidos del cultivo de salmón sobre varias proporciones diferentes de dietas de mitilidos compuestas de sólidos del cultivo de salmón para una combinación particular de Contenidos Orgánicos (OC) de las dietas.

Se asumieron varias simplificaciones en el modelo con el fin de buscar la parsimonia del modelo: (1) el modelo asume que la producción de pseudo fecas de los mitilidos y la producción fecal de los organismos fouling sobre los mitilidos (o estructuras asociadas) no son significativas, (2) la carga del cultivo no incrementó la productividad primaria localizada, y (3) no ocurre ninguna otra extracción orgánica adicional vía el consumo de fecas de mitilidos por parte de otras especies de mitilidos. Se impone al modelo un umbral superior de consumo de un tercio de la carga orgánica total generada por el cultivo de salmones.

La simulación de dos escenarios se muestra en la Figura 76 a y b, como ejemplo de una disminución o aumento neto de la carga orgánica en un centro de Cultivo Multi-Trófico Integrado por Salmones y Mitilidos.



**Figura 76.** (A) Escenario con una proporción dietaria para los mitilidos de 80% de alimento natural (seston) de alta calidad y 20% de “finos” de pelet de salmone. La combinación mitilidos-salmone se traduce en una reducción de la Carga Orgánica (OL) de 16,3 ton, como se ve reflejada en las diferencias entre el OL del sitio IMTA y la OL del monocultivo de salmone

(355,7 ton – 372,0 ton = -16,3 ton), y entre la OL del seston egestado en las fecas de los mitilidos y la materia orgánica absorbida por los salmones (18,3 ton -34,6 ton = -16,3 ton). **(B)** Escenario con una proporción dietaria para los mitilidos de 97% de alimento natural (seston) de baja calidad y 3% de fecas de salmones. La combinación mitilidos-salmones se traduce en un aumento de la Carga Orgánica (OL) de 27,3 ton, como se ve reflejada en las diferencias entre el OL del sitio IMTA y la OL del cultivo de salmones (355,7 ton – 308,0 ton = 27,3 ton), y entre la OL del seston egestado en las fecas de los mitilidos y la materia orgánica absorbida por los salmones (31,2 t -3,9 t = 27,3 t). AE: Eficiencia de Absorción; OC: Contenido Orgánico; TPM: Materia Particulada Total.

Los principales resultados del modelo indican que una reducción potencial en la carga orgánica neta del IMTA (v.g. un Umbral de Proporción Dietaria (DPT) reducido) aumenta con la calidad (OC) del seston y la materia orgánica generada por el cultivo de salmón. Si la cantidad de materia orgánica digerida por las especies extractivas es mayor que la carga orgánica fecal del seston, ocurre una reducción en la carga orgánica neta del IMTA. La diferencia de carga orgánica entre el Sistema IMTA Salmón-Mitílido y el monocultivo de salmón es la misma que la diferencia entre la materia orgánica proveniente del cultivo de salmón y la materia orgánica del seston egestada.

Las soluciones del modelo esquematizado en la Figura 76, buscan mostrar que el cultivo integrado de mitilidos con uno de salmones tiene el potencial de incrementar o reducir la carga orgánica en el sitio de cultivo. Esto se debe a que los mitilidos tienen la capacidad de consumir dietas mixtas (natural y proveniente del cultivo de salmones). Una cierta proporción de sólidos generados del centro cultivo de salmones debieran mantenerse en la dieta de los mitilidos para alcanzar una reducción neta de la carga orgánica. Debido a que puede ocurrir un incremento neto en la carga orgánica en el IMTA dentro de este régimen de cultivo, se sugiere enfatizar en la necesidad de cultivar especies depositóricas bajo las infraestructuras de cultivo de mitilidos, como también bajo los cultivo de salmones, para de esta manera mejorar los sistemas IMTA en aguas abiertas.

#### **3.3.1.7. Otros desafíos en la medición y modelamiento del rol de los mitilidos en el IMTA**

Modelar el aumento del crecimiento y consumo de materia orgánica proveniente del cultivo de peces por parte de los mitilidos en sistemas IMTA en aguas abiertas, presenta algunas dificultades. Estas se deben principalmente a que los mitilidos cultivados cerca de

las jaulas de peces consumen seston natural (partículas orgánicas, fitoplancton y zooplancton), además del consumo potencial de partículas orgánicas provenientes del cultivo de salmones. En consecuencia, puede ser difícil evaluar la proporción de esta materia orgánica que es filtrada, transformada o extraída en la biomasa cosechada en relación a las fuentes naturales de alimento. Puede existir también una relación entre los nutrientes inorgánicos disueltos excretados por los salmones y el aumento potencial de la producción primaria: influyen indirectamente en el crecimiento de los mitílidos (Sarà, et al., 2012). Este efecto de retroalimentación puede darse con mayor probabilidad en aguas de climas templados y áreas con bajas velocidades de corriente (Reid, et al., 2011).

Los estudios de laboratorio muestran en forma clara que los bivalvos pueden fácilmente filtrar, digerir y retener las fecas de los peces (Reid, et al., 2010; Redmond, et al., 2010; Lefebvre, et al., 2000). Sin embargo, es contradictorio percibir una evidencia del beneficio en el crecimiento de los mitílidos en sistema IMTA en aguas abiertas. Varios estudios informan de un aumento o evidencias del crecimiento de los mitilidos por el consumo de materia orgánica proveniente de cultivos multitróficos en aguas abiertas (Cheshuk, et al., 2003; Navarrete-Mier, et al., 2010). Esto implica una influencia substancial de los factores sitio específicos que afectan las concentraciones y distribución espacial de los residuos de peces a través de diferencias en el suministro de nutrientes (cultivos) y procesos de dilución (advección y dispersión). En conjunto, estos estudios sugieren que puede ser difícil la aplicación de parámetros de modelos generales y requerir datos sitio específicos significativos (Reid, et al., 2011).

Dado que el principal objetivo del co-cultivo integrado de salmones y mitílidos es extraer la materia orgánica liberada por el cultivo de peces, es importante establecer mediciones relevantes para determinar la eficiencia o efectividad que representa un sistema IMTA para mitigar la carga orgánica liberada desde un centro de cultivo. Los mitílidos sólo utilizarán la porción de materia orgánica que esté dentro de su rango de tamaño de filtración. Por ejemplo, los mejillones pueden filtrar partículas de tamaño entre 3  $\mu\text{m}$  (Møhlenberg & Riisgård, 1979) y 1000  $\mu\text{m}$  (Newell & Jordan, 1983). Si sólo el 10% de la biomasa de materia orgánica proveniente del centro de cultivo de peces cae dentro de

este rango, los mitilidos serán incapaces de filtrar la materia orgánica restante y la tarea debiera ser asumida por otras especies.

El segundo objetivo de un sistema IMTA de mejorar el crecimiento de los mitilidos, se puede evaluar comparando el crecimiento de los mitilidos en un centro de cultivo de salmónidos con el crecimiento observado en un sitio de referencia adecuado. Esto permite calcular el crecimiento relativo de los mitilidos cultivados en un sistema IMTA. Desafortunadamente, hay varias dificultades asociadas a esta estrategia. Lo primero es encontrar un sitio de referencia o control adecuado. Idealmente, un sitio control debería estar lo suficientemente lejos de un centro de cultivo IMTA como para anular la potencial influencia del sitio de cultivo mismo, pero lo suficientemente cerca como para asegurarse una exposición al mismo tipo de aguas e hidrodinámica.

Se puede usar un modelo validado para mitilidos en un sitio IMTA (que considere tanto el seston natural como la materia orgánica liberada del cultivo de peces) para derivar condiciones de referencia que permita la extracción residuos orgánicos proveniente del cultivo de peces y haga una predicción del crecimiento resultante de los mitilidos. Esto permitiría hacer estimaciones del aumento potencial del crecimiento en respuesta al un consumo adicional de residuos de peces (Reid, et al., 2011).

#### **3.3.1.8. Modelo de salida y retención de sólidos suspendidos en un Cultivo Integrado de Salmones -Mitilidos**

Para contrastar el modelo descrito en la sección 3.3.1.6, se propone aquí el modelo general descrito por Troell & Norberg (1998).

Los residuos generados por los cultivos de peces (fecas y residuos de alimento), pueden ser utilizados por moluscos filtradores. En algunos casos los bivalvos crecen mucho mejor cuando son cultivados cerca de cultivos de salmones, indicando que pueden estar haciendo uso de esas partículas. Sin embargo, como se ha descrito más arriba, varios estudios muestran que hay poco o nulo crecimiento de mitilidos cultivados en asociación con peces, indicando que hay factores ambientales y tecnologías de cultivo que pueden influir en forma significativa esta respuesta.

Los modelos clásicos de crecimiento de mitílidos se enfocan principalmente en las influencias potenciales que pueden tener las corrientes marinas y los protocolos de alimentación sobre las concentraciones de sólidos en suspensión en las aguas residuales provenientes de las jaulas de cultivo de peces, buscando analizar la respuesta de los mitílidos a un aumento en la concentración de partículas en el ambiente.

a.- Consumo de partículas por parte de los mitilidos

Para formular un concepto general de la reducción de materia particulada (v.g. seston), la cual es independiente de las condiciones sitio-específicas, se asume que entra a un cultivo integrado un volumen de agua que contiene una concentración de partículas. Las concentraciones de partículas son biológicamente más importantes, puesto que los organismos responden a las concentraciones más que a la masa total. De hecho, hay fundamentalmente una relación directa entre masa y concentración, pero la masa total del seston depende del tamaño de los peces en cultivo y del volumen de agua que fluye a través del cultivo.

El seston que llega a los mitilidos será asimilado y, mientras el agua sea expuesta a los mitílidos que asimilan, las concentraciones disminuirán en el tiempo. Esto significa que los mitílidos harán disminuir gradualmente la concentración de alimento a lo largo de la dirección de la corriente, lo cual incidirá en una disminución de la asimilación de los mitílidos ubicados corriente abajo. El cambio en la concentración de materia particulada se observará en un periodo de tiempo más que en una distancia dada. Esto significa que inicialmente el modelo no depende de la corriente del agua, sino que ésta se considerará en un estado tardío del análisis.

b.- Fisiología de los mitilidos

Para usar los residuos generados por el cultivo de peces en términos de concentración de **Sólidos Suspendidos (SS)**, se usa el modelo de Page & Ricard (Page & Ricard, 1990) para calcular la respuesta fisiológica de *Mytilus edulis* a un aumento en los niveles del recurso. El modelo considera tasas de aclarado tamaño-específico, niveles umbral tamaño-específico para la producción de pseudofecas y aclaramiento y tasas de respiración

dependientes de la temperatura. El modelo se usa para estimar el efecto que tendría un aumento de recursos SS en la tasa instantánea de consumo de partículas, v.g.

Consumo (Q) = tasa de aclaramiento (w)\*Q\*(1- % pseudofecas /100)

(w,Q)\*eficiencia de absorción (%POM) (9)

para mitilidos de tamaños diferentes, w. Para el caso del mejillón azul, la respuesta funcional del consumo neto es dependiente del tamaño corporal de los mejillones y SS (Ecuación 9).

#### c.- Retención en un cultivo de mitílidos

En un cultivo de mitilidos, un volumen de agua tiene un tiempo de residencia que depende de la corriente del agua. Por lo tanto, a bajas corrientes el volumen de agua estará expuesto a los mitilidos por un largo periodo de tiempo, aumentando de este modo la eficiencia de extracción del seston. Para una simulación de la retención de SS por parte de un cultivo de mitilidos, se asume que un volumen de agua que contiene una cierta concentración de material ( $Q_{inicial}$ ), entra a un cultivo en un tiempo=0. Se asumen que los mitilidos están distribuidos homogéneamente dentro del cultivo y que el volumen de agua que contiene SS está expuesto a la filtración durante toda la simulación. La concentración de materia orgánica disminuye en el tiempo y como consecuencia los organismos responderán a nuevas concentraciones. El cambio en el tiempo en la concentración de un volumen de agua que pasa a través de un cultivo se puede describir con la fórmula general, como:

$$\frac{dQ}{dt} = -consumo(Q) - s \cdot Q \quad (10)$$

Donde el consumo (Q) es la tasa a la cual está siendo asimilada la materia orgánica, generalmente es una función de Q, y s es la tasa de remoción de partículas debido a la sedimentación. La densidad es igual al número de mitilidos por litro. La ecuación de arriba fue incorporada en un modelo Stella y se corrió en una simulación de 60 minutos considerando un grupo de parámetros (Tabla 1). Cuando se simula el modelo (ecuación

10), se observa una competencia entre el consumo de partículas por parte de los mitilidos y la sedimentación, en la extracción de seston desde la columna de agua.

Parte de la información que entrega la simulación de los modelos (ecuación 9 y 10) frente a distintos escenarios de liberación de materia orgánica desde un centro de cultivo de salmones (Troell & Norberg, 1998), indica que el régimen de alimentación de los salmónidos (continuo o a pulsos) sólo tiene influencia positiva bajo ciertas condiciones ambientales: si las concentraciones ambientales de seston son bajas, un aumento moderado o bajo en la concentración de sólidos suspendidos (por debajo del umbral de pseudofecas) tendría efectos beneficiosos sobre el crecimiento de los mitilidos; sin embargo, si la concentración de seston está por sobre el nivel de saturación para la remoción de seston, un aporte adicional proveniente de las jaulas de salmones no tendría un efecto significativo sobre el crecimiento de los mitilidos.

Aunque es fácil visualizar e intuitivamente prometedor, la integración de un cultivo de bivalvos con un cultivo de salmones puede ser difícil de lograr en la práctica. Esto se debería al flujo de agua circulante y la naturaleza abierta de las jaulas, que incide en una alta tasa de flujo de agua que genera residuos en baja concentración. Diferentes protocolos de alimentación y velocidades de corriente alteran la incorporación de sólidos suspendidos a la concentración de seston ambiental solo en una menor medida. Aunque la incorporación de sólidos suspendidos puede ser considerable cuando se alimenta en pulsos, la habilidad de los mitilidos es limitada para responder a dichos incrementos por su fisiología. Sobre ciertas concentraciones de seston los mitilidos comenzarán a producir pseudofecas, y por lo tanto serán incapaces usar estos pulsos más enriquecidos (Troell & Norberg, 1998).

Sin embargo, en una escala más regional, la cosecha de mitilidos en un cultivo combinado puede efectivamente dar como resultado una extracción neta de POM, nitrógeno y fósforo. Mediante la combinación de cultivos de peces con mitilidos, también se puede contrarrestar el desbalance de N/P disuelto, que es un factor de generación de FAN (Folke, et al., 1994).

### 3.3.1.9. Modelo Bioenergético para Algas

Las algas como organismos autótrofos están fuertemente regulados en su desarrollo e incremento en biomasa por variables ambientales como luz, temperatura, nutrientes y velocidad de corriente (Kirk, 2011). Por lo tanto, para modelar la Tasa de Crecimiento de las algas se debe considerar una función donde la Tasa de Crecimiento Máximo (TCM) obtenida bajo cierta densidad de luz (PAR), de temperatura (T) y de concentración de nutrientes presentes en el agua. Para el caso de los nutrientes, se ha establecido que en ambientes acuáticos los nutrientes que, debido a su baja concentración, pueden inhibir el incremento en biomasa son el nitrógeno y el fosfato (N y P) (ecuación 11).

$$TC = TCM \times f(PAR) \times f(T) \times \min(f(N); f(P)) \quad (11)$$

#### Luz

Para esto se debe considerar que sólo la fracción del espectro visible comprendida entre los 400 y 700 nm es usada en el proceso fotosintético. Esta fracción del espectro del visible es conocida como Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) (Kirk, 2011). Entre los factores que influyen en la cantidad de luz PAR a la que son expuestas las algas, se encuentra el ángulo de incidencia de la luz sobre la superficie del agua, la cobertura de nubes, acción de las olas, profundidad, seston (Kirk, 2011).

Las tasas de fotosíntesis aumentan linealmente con la luz a un nivel de saturación, más allá del cual no se mejora la fotosíntesis (Cosby, et al., 1984). Pasado cierto umbral, el incremento en la intensidad lumínica provoca foto-inhibición del fotosistema II y hasta la destrucción del tejido fotosintético (Hanelt, 1996; Platt, et al., 1980).

La respuesta fotosintética para la luz está basada en la curva de saturación, ley de Steele (Steele, 1962) (ecuación 12).

$$f(PAR) = \frac{L}{L_{opt}} \times e^{\left(1 - \frac{L}{L_{opt}}\right)} \quad (12)$$

donde, la respuesta fotosintética (PAR) está dada a una intensidad de luz (L) para una planta que tiene su máxima tasa fotosintética a la intensidad lumínica óptima ( $L_{opt}$ ).

La ecuación de Beer- Lambert permite calcular la intensidad de luz a cierta profundidad (z), la cual se representa por el siguiente algoritmo:

$$L = I_0 e^{-kz} \quad (13)$$

Donde,  $I_0$  es la intensidad lumínica superficial que corresponde al rango de luz de visible correspondiente al 50% de la radiación solar incidente. El coeficiente de extinción lumínica está representado por k.

Al realizar la integración del factor limitante luz se obtiene

$$f(PAR) = \frac{1}{k} x e^{\left(\frac{1}{L_{opt}}\right) x} \left[ e^{\left(\frac{L}{L_{opt}} x e^{(-z * k)}\right)} - e^{\left(\frac{L}{L_{opt}}\right)} \right] \quad (14)$$

### Temperatura

La temperatura afecta la productividad de las algas, debido a que influye en la velocidad a la que se realizan los procesos químicos al interior de la planta. Estos procesos químicos son parte de procesos metabólicos que tienen un funcionamiento óptimo a una temperatura óptima (Thornton & Lessem, 1978). Cambios bruscos o extremos en la temperatura pueden generar cambios significativos en la productividad e incluso la muerte de tejido (Vázquez & Vega, 2004).

Este factor sigue la ley de inhibición representada por el siguiente algoritmo

$$f(T) = q_{10}^{0.1(T-T_{ref})} \quad (15)$$

Donde,  $q_{10}$  es un coeficiente de temperatura y  $T_{ref}$  es la temperatura a la que se midió la tasa de crecimiento máxima del alga.

## Fosforo y Nitrato

Existe consenso en que la disponibilidad de nitrógeno y fosfato en el agua de mar son factores que limitan el crecimiento de las plantas acuáticas, siendo el más importante el nitrógeno. Este es absorbido principalmente como amonio y en menor medida como nitrato y nitrito.

La función del factor limitante de nutrientes se considera como el mínimo término de limitación de nitrógeno y fosfato. Para cada uno de los nutrientes se usa la expresión de Michaelis-Menten, donde la función alcanzará un valor 1, cuando las algas se encuentren saturadas de nitrógeno y tendrá un valor entre 1 y 0, cuando las algas puedan absorber nutriente.

$$\min (f(N); f(P)) = \min \left( \frac{N}{N + K_N}; \frac{P}{P + K_P} \right) \quad (16)$$

Donde, N corresponde a la concentración de saturación de nitrógeno y  $K_N$  es la constante de semi-saturación del nitrógeno; P es la concentración de saturación de fosfato y  $K_P$  es la constante de semi-saturación del fosfato.

### 3.3.2.0. Modelos de Crecimiento para Algas

Los modelos de productividad para macrófitas siguen por lo general una estrategia de balance de masa. La biomasa cosechable está en función de la tasa de producción de biomasa a través de la fotosíntesis bruta y pérdidas de biomasa por respiración, daños a las plantas y pérdidas por deterioro (Carr, et al., 1997). La diferencia entre modelos está en los factores ambientales utilizados para influir sobre las tasas de crecimiento y los algoritmos usados para describir el crecimiento con estos parámetros. Algunos modelos se basan en el supuesto que el crecimiento y las tasas de consumo son iguales, por lo tanto dependerían de la concentración externa de los nutrientes aunque otros asumen que la cinética del consumo es independiente del crecimiento, lo cual es una función del contenido de nutrientes de las células. A continuación se explica el modelo de Droop (Droop, 1968; Lampranidou, et al., 2015), que describe la relación entre la tasa de

crecimiento de las algas y la cantidad total de nutrientes por célula. Este modelo es propuesto junto a otros submodelos para evaluar mediante un modelo general la optimización de la productividad y eficiencia de bio-remediación de un cultivo marino multitrófico integrado (IMTA) (Lamprianidou, et al., 2015).

((Lo que se busca es determinar la habilidad de un cultivo IMTA para reducir la carga de nutrientes y POM liberada de un cultivo de salmones considerando la cantidad de nutrientes y POM que son liberados y la cantidad que potencialmente podría ser absorbida/consumida por organismos extractivos asumiendo que todos los residuos permanecen dentro de un sistema virtualmente cerrado)).

La biomasa de las macroalgas (B) aumenta con una tasa de crecimiento y decrecimiento variable debido a causas naturales y cosechas periódicas. Los procesos básicos que afectan la biomasa de macroalgas dan forma a la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{dB}{dt} = (\mu - \Omega) - (D + H) * B \quad (17)$$

donde,  $\mu$  es la tasa de crecimiento específico,  $\Omega$  es la tasa de descomposición específica, D la tasa de pérdida debido a perturbaciones ambientales y H es la tasa de cosecha.

La tasa de crecimiento bruta es definida como una función dependiente de la temperatura del agua, disponibilidad de Radiación Fotosintéticamente Activa (luz PAR) y la concentración de nutrientes en la columna de agua y en los tejidos de las plantas.

Los principales nutrientes requeridos para el crecimiento son el nitrógeno y el fósforo, mientras que a menudo el carbono está disponible en exceso y los micronutrientes tales como el hierro y el manganeso sólo son limitantes en ambientes oligotróficos. En general, en los ecosistemas marinos el elemento limitante para el crecimiento de las algas es el nitrógeno (Lobban & Harrison, 1994). De este modo, en el modelo que se describe aquí y en otros propuestos en la literatura se asume que el fósforo no es limitante.

El efecto bioremediador de los sistemas IMTA es estrechamente dependiente de la biomasa de organismos extractores cosechados. Sin embargo, la biomasa máxima está restringida por prácticas de cultivo tales como la alteración potencial de las corrientes de

agua y por la disponibilidad de nutrientes. La biomasa máxima depende del sitio y de la especie.

La pérdida de biomasa de algas está asociada a la mortalidad, cosecha y pérdidas naturales de biomasa (mortalidad de plántulas, pastoreo, epifitismo, abrasión del sedimento y asfixia y extracción por efecto del oleaje). El manejo de la tasa de cosecha es un parámetro de importancia para alcanzar tasas de alta productividad. Para resultados óptimos, cuando la biomasa de algas alcanza un nivel predefinido, las algas son cosechadas a intervalos regulares. La biomasa cosechada depende de la estimación del crecimiento y la tasa de mortalidad natural de los próximos días.

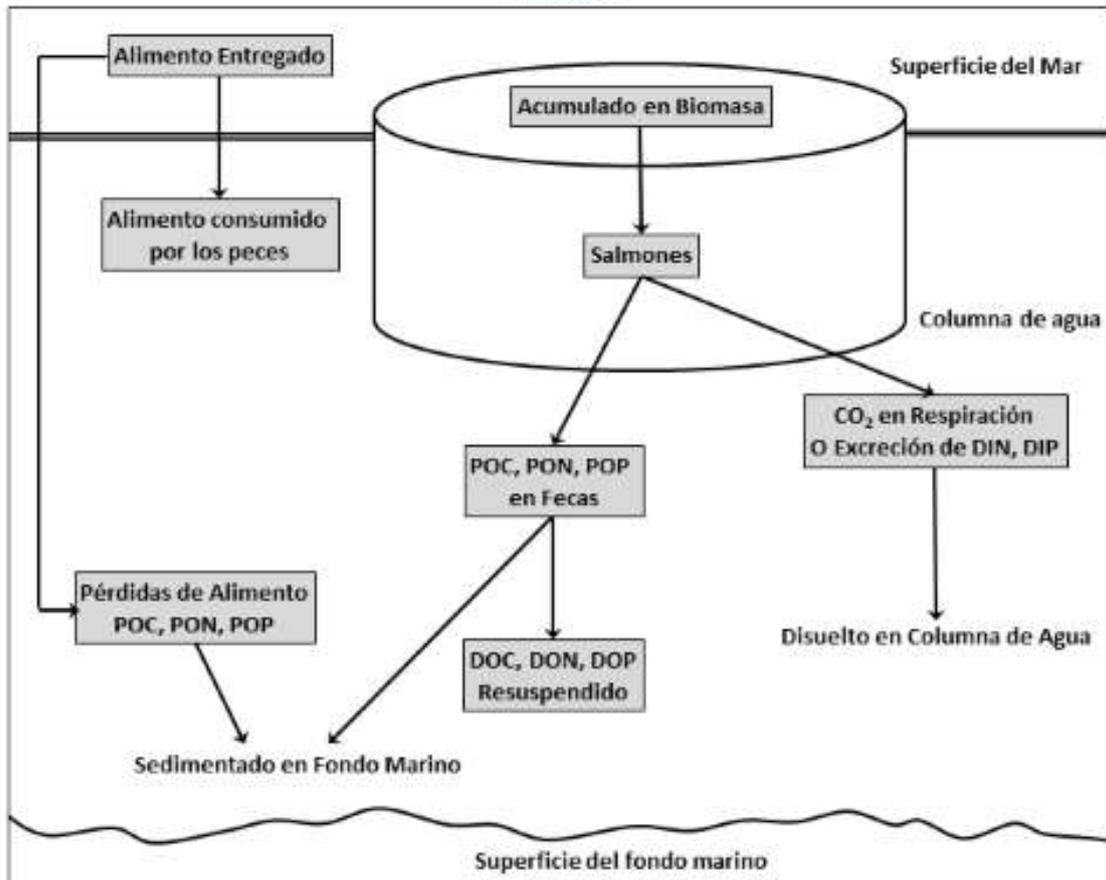
### 3.3.2.- Modelo de Transferencia de Nutrientes para Salmónidos

A continuación se cuantifica la tasa de liberación de carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P) desde los centros de cultivo de salmónes con el fin de evaluar la influencia ambiental teórica que tiene la industria del cultivo del salmón sobre las aguas circundantes y el potencial de ésta para la Acuicultura Multi-Trófica Integrada. Del total del alimento incorporado, el 70% de C, 62% de N y 70% de P son liberados al ambiente. Se estima que el 48% del C contenido en el alimento es respirado como CO<sub>2</sub>, el 45% del N es excretado como N inorgánico disuelto (DIN) y el 18% de P contenido en el alimento es excretado como P inorgánico disuelto (DIP). Aproximadamente el 44% del P contenido en el alimento es liberado en forma particulada. Estimaciones realizadas a nivel mundial sobre el potencial que tiene la industria del cultivo del salmón para el Cultivo Multi-Trófico Integrado muestra un potencial considerablemente mayor para la producción de macroalgas basado en la liberación de DIN que para la producción de mitilidos basado en la liberación de carbono orgánico particulado de tamaño apropiado (POC).

El cultivo en jaulas puede liberar una cantidad considerable de residuos biogénicos tales como residuos orgánicos y nutrientes inorgánicos que son generados en el proceso de producción (Figura 77) (Troell & Norberg, 1998; Cheshuk, et al., 2003; Vassallo, et al., 2006; Redmond, et al., 2010).

El cultivo de salmónes libera residuos de Carbono (C), Nitrógeno (N) y Fósforo (P).

- N Inorgánico Disuelto (DIN) (v.g. NH<sub>3</sub><sup>+</sup>): liberados a través de la excreción
- P Inorgánico Disuelto (PIN) (v.g. PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>): liberados a través de la excreción.
- C Inorgánico es liberado como CO<sub>2</sub> a través de la respiración.
  
- N Orgánico Particulado (PON): liberado a través de las fecas y pérdidas de alimento.
- P Orgánico Particulado (POP): liberado a través de las fecas y pérdidas de alimento.
- C Orgánico Particulado (POC): liberado a través de las fecas y pérdidas de alimento.
  
- C Orgánico Disuelto (DOC)
- N Orgánico Disuelto (DON)
- P Orgánico Disuelto (DOP). Todos generados por la disolución de fracciones de materia orgánica particulada



**Figura 77.** Flujo y destino de los nutrientes generados desde un centro de cultivo de salmones. El Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN) y Fósforo Inorgánico Disuelto (DIP) son liberados a través de la excreción, y el Carbono Inorgánico (CO<sub>2</sub>) a través de la respiración. El C, N y P Orgánico Particulado (POC, PON y POP, respectivamente) son liberados a través de las fecas y el alimento desperdiciado. El C, N y P Orgánico Disuelto (DOC, DON y DOP, respectivamente) son re-suspendidos a partir de las partículas fecales y alimento. Adaptado de (Wang, et al., 2012)

Estos diferentes componentes nutritivos tienen el potencial de influir sobre diferentes partes del ecosistema marino. Los Nutrientes Inorgánicos (DIN, DIP) quedan rápidamente disponibles para el FITOPLANCTON y las MACROALGAS (Troell, et al., 2003; Troell, et al., 2009) y su consumo puede ser rápido, aunque puede tomar varios días antes que responda la biomasa fitoplanctónica a este aumento.

Las grandes partículas fecales y el alimento no consumido se hunden rápidamente y se pueden acumular en los sedimentos sobre el fondo marino (Cromeey, et al., 2002), donde pueden ser consumidos por animales detritívoros.

Los residuos particulados pequeños pueden permanecer en suspensión y luego ser consumidos en la columna de agua por el zooplancton o por peces que se alimentan visualmente, o por mitilidos (Troell, et al., 2009).

El DON y DOP son disueltos desde las partículas de alimento y fecales, y pueden constituir pequeñas especies moleculares que contienen N y P tales como, por ejemplo, aminoácidos y nucleótidos, pero mayormente comprende compuestos químicos complejos disueltos ( $<0,2 \mu\text{m}$ ) que están disponibles para bacterias y para fitoplancton en una mayor escala de tiempo (Fan, et al., 2003).

Uno de los principales desafíos que enfrenta la acuicultura en la actualidad es continuar creciendo sostenidamente en la producción de peces pero minimizando el impacto sobre el ambiente (Navarrete-Mier, et al., 2010)). Por lo tanto, es importante cuantificar los diferentes componentes nutrientes liberados por el cultivo de peces con el fin de comprender a cabalidad el potencial de la Acuicultura Multi-Trófica Integrada y los posibles efectos sobre los ecosistemas costeros, y también para optimizar el diseño y recuperación eficiente de nutrientes por parte de los sistemas IMTA (Reid, et al., 2009; Dalsgaard & Pedersen, 2011).

#### **3.3.2.1.- Estimación de la Tasa de Liberación de Residuos**

La tasa de liberación de residuos desde los cultivos de salmones se puede estimar usando un sencillo principio de balance de masas (Sterner & George, 2000; Reid, et al., 2009).

Los principales datos usados para estimar las TASAS de LIBERACIÓN de Residuos de Carbono (C), Nitrógeno (N) y Fósforo (P) Particulado y Disuelto, son las estadísticas mensuales de alimento usado y la producción de peces.

Otra información adicional requerida, son: datos de digestibilidad (eficiencia de asimilación) de los componentes de C, N y P del alimento y las pérdidas de alimento, obtenidas de los productores de alimento y resultados publicados de otros estudios; datos

sobre la estequiometría del C, N y P de los peces y alimento que pueden ser derivados de otros estudios; y datos sobre el contenido de agua del alimento y los peces, también tomados de la literatura. Los valores de los coeficientes usados en los cálculos del balance de masas, se entregan en la siguiente Tabla 8.

**Tabla 8.** Valores de los coeficientes del modelo para Contenido de Agua del alimento y pez, Eficiencia de Asimilación (EA) del Carbono (C), Nitrógeno (N) y Fósforo (P) del alimento, contenido de C, N y P en el alimento y pez, y la tasa de lixiviación (v.g. fracción soluble) del C, N y P Fecal y Alimento. PS: Peso Seco; PH: Peso Húmedo

Coeficiente	Valor	Referencias
Pérdida de Alimento (%)	3	Corner et al. (2006), Reid et al. (2009)
Agua en Alimento (%PS)	4	Piedecausa et al. (2010)
Materia Seca en Peces (%PH)	33,5	Talbot et al. (1986)
Carbono (C) EA (Eficiencia de Asimilación)	0,8	Cheshuk et al. (2003), Corner et al. (2006)
Contenido Carbono en Alimento (%PS)	51	Petersen et al. (2005), Corner et al. (2006)
Contenido Carbono en Peces (%PS)	50	Olsen & Olsen (2008)
Fracción Soluble (%PS)	15	Chen et al. (2003)
Nitrógeno (N) EA (Eficiencia de Asimilación)	0,85	T. Lea, Skretting AS (com.per)
Contenido de N en Alimento (%PS)	7,2	Gillibrand et al. (2002), Mente et al. (2006)
Contenido de N en Peces (%PH)	3	Ackefors & Enell (1990), Davies & Slaski (2003)
Fracción Soluble (%PS)	15	Chen et al. (2003)
Fósforo (P) EA (Eficiencia de Asimilación)	0,5	Reid et al. (2009), Bureau et al. (2003)
Contenido de P en Alimento (%PS)	1,2	Petersen et al. (2005), Reid et al. (2009)
Contenido de P en Peces (%PH)	0,4	Talbot et al. (1986)
Fracción Soluble (%PS)	15	Sugiura et al. (2006)

### 3.3.2.2.- Balance de Masas de C, N y P en Peces

El balance de masa para los peces ( $f$ ) que consumen alimento se puede representar por:

$$I_f = A_f + F_f = (G_f + E_f) + F_f$$

Donde  $I$  es el Consumo de Alimento,  $A$  es el Alimento Asimilado,  $F$  es defecación,  $G$  crecimiento o retención en biomasa y  $E$  excreción.

El **Alimento Asimilado** es la fracción digerida por los peces y almacenada en los tejidos, y la **Asimilación por Ingestión** es denominada **Eficiencia de Asimilación (EA)** y es compatible a la **Eficiencia de Digestión** informada por las fábricas de alimento. La EA para el C, N o P se calcula, para cada elemento, de la siguiente manera:

$$EA_f = A_f / I_f$$

El C, N y P **asimilado** en el alimento se puede usar para el crecimiento y aumento de peso o liberado a través de la respiración o excreción. La **Eficiencia de Crecimiento (EC)** es un término ecológico que expresa el Rendimiento de Producción, y se calcula como:

$GE_f = G_f / I_f$ ; para cada elemento con producción y consumo expresado en las mismas unidades (v.g. g d<sup>-1</sup>).

El **C** excretado es el **CO<sub>2</sub>** liberado en la respiración, mientras que el **N** y **P** son excretados principalmente en la forma de amoníaco (**NH<sub>3</sub>**) liberado a través de la branquias y el **PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>** en la orina. La **cantidad de nutrientes excretados (E<sub>f</sub>)** es igual a la cantidad de nutrientes asimilados menos la cantidad de nutrientes retenidos en la biomasa de los peces, y puede ser representado por la siguiente ecuación, para cada uno de los elementos:

$$E_f = A_f - G_f = (I_f \times AE_f) - G_f$$

Donde *I* es el consumo total de alimento seco multiplicado por el contenido en peso seco (PS) del alimento de los nutrientes considerados (C, N, P). La EA (Eficiencia de Alimentación) para el C, N y P se puede obtener de los fabricantes de alimento y de la literatura. G es el C, N y P cosechado como biomasa del pez y se puede calcular como la producción de peces multiplicado por el contenido de C, N y P en los peces. Del alimento ingerido, una proporción no será digerida por el pez, sino liberada como partículas fecales. El contenido no digerible en el alimento determinará principalmente la fracción de fecas producidas por alimento consumido. F<sub>f</sub> puede ser estimada como:

$$F_f = I_f - A_f = I_f \times (1 - AE_f)$$

### 3.3.2.3.- Balance de Masa del C, N y P a nivel de Centro de Cultivo

La emisión de residuos desde los centros de cultivo de salmónidos difiere de los cálculos con peces individuales porque una proporción del alimento se perderá como partículas y algunos peces morirán (Davies & Slaski, 2003). Los salmones muertos por lo general son colectados para su eliminación y depositados en tierra, de modo que no se pierden directamente hacia el ambiente. En nuestros cálculos, la mortalidad es un parte de la

producción de peces y tenemos por lo tanto que asumir que la mortalidad adicional es insignificante en el contexto de la transferencia total de materia.

Tiempo atrás las pérdidas de alimento representaban una fuente significativa de residuos particulados provenientes del cultivo de salmónidos: 20 a 40% del total del alimento entregado (Beveridge, 1987; Reid, et al., 2009), pero en la actualidad la alimentación es controlada de mejor manera y las pérdidas son menores que en el pasado (Cromey, et al., 2002; Bureau, et al., 2003; Davies & Slaski, 2003; Mente, et al., 2006).

En este informe se asume que se pierde el 3% del alimento total entregado a los salmones.

Coincidente con esto, el **alimento entregado** a los salmones ( $I_F$ , 'F' para diferenciar el nivel de cultivo) es igual a la asimilación total de los peces ( $A_F$ ) y la defecación ( $F_F$ ) más las pérdidas de alimento ( $L_F$ ):

$$I_F = A_F + F_F + L_F$$

La pérdida de **Materia Orgánica Particulada** de los elementos X ( $L_{POX}$ ), donde X es **C**, **N** o **P**, desde los cultivos de peces es igual a la defecación total ( $F_F$ ) más las pérdidas de alimento ( $L_F$ ) de los elementos:

$$L_{POX} = F_F + L_F$$

Una fracción de las partículas se disolverá y se transformará en Materia Orgánica Disuelta (MOX). De acuerdo a Chen et al. (2003), aproximadamente el 15% del C y N en las fecas se lixiviará después de algunos minutos en el agua, sin haber mayor posteriormente una lixiviación significativa. Además, aproximadamente el 15% del P fecal se disolverá en minutos u horas (Sugiura, et al., 2006).

En la actualidad, las pérdidas de alimento son relativamente bajas debido, entre otros, a la alimentación controlada por cámaras y las pérdidas son monitoreadas ya sea cámaras o equipos acústicos instalados para detectar pellets no consumidos.

Aquí se asume que la **Tasa de Disolución** de las **Partículas de Alimento** perdidas es la misma que para las **Fecas** de nuestro modelo de balance de masas.

La **Pérdida de Materia Orgánica Disuelta (L<sub>DOX</sub>)** se puede calcular de acuerdo a:

$$L_{DOX} = L_{POX} \times SF$$

Donde SF es la Fracción Soluble por peso seco de las partículas fecales y de alimento. Entonces, la pérdida neta de material particulado (L<sub>NPOX</sub>) es igual a los nutrientes particulados perdidos (L<sub>POX</sub>) menos los Nutrientes Orgánicos Disueltos (L<sub>DOX</sub>) que lixivian de la materia particulada originadas de las pérdidas por defecación y alimento., v.g.:

$$L_{NPOX} = L_{POX} - L_{DOX}$$

### **Valor de los Coeficiente**

Alimento de salmones: Contenido de Agua (Humedad)=4% PS (Piedecausa, et al., 2010).

Salmones: Peso Seco/Peso Húmedo= 34% (Talbot, et al., 1986).

Proporción de pérdida de alimento, varía en función del tipo de alimento, régimen de alimentación y zonas.

Primeros estudios: 1-40% (Gowen, et al., 1985; Beveridge, 1987; Troell & Norberg, 1998; Islam, 2005).

Estudios recientes: 5% (Cromey, et al., 2002; Bureau, et al., 2003; Reid, et al., 2009).  
Tecnologías modernas.

Supuesto razonable de pérdidas: 3% (Cromey, et al., 2002; Corner, et al., 2006; Reid, et al., 2009).

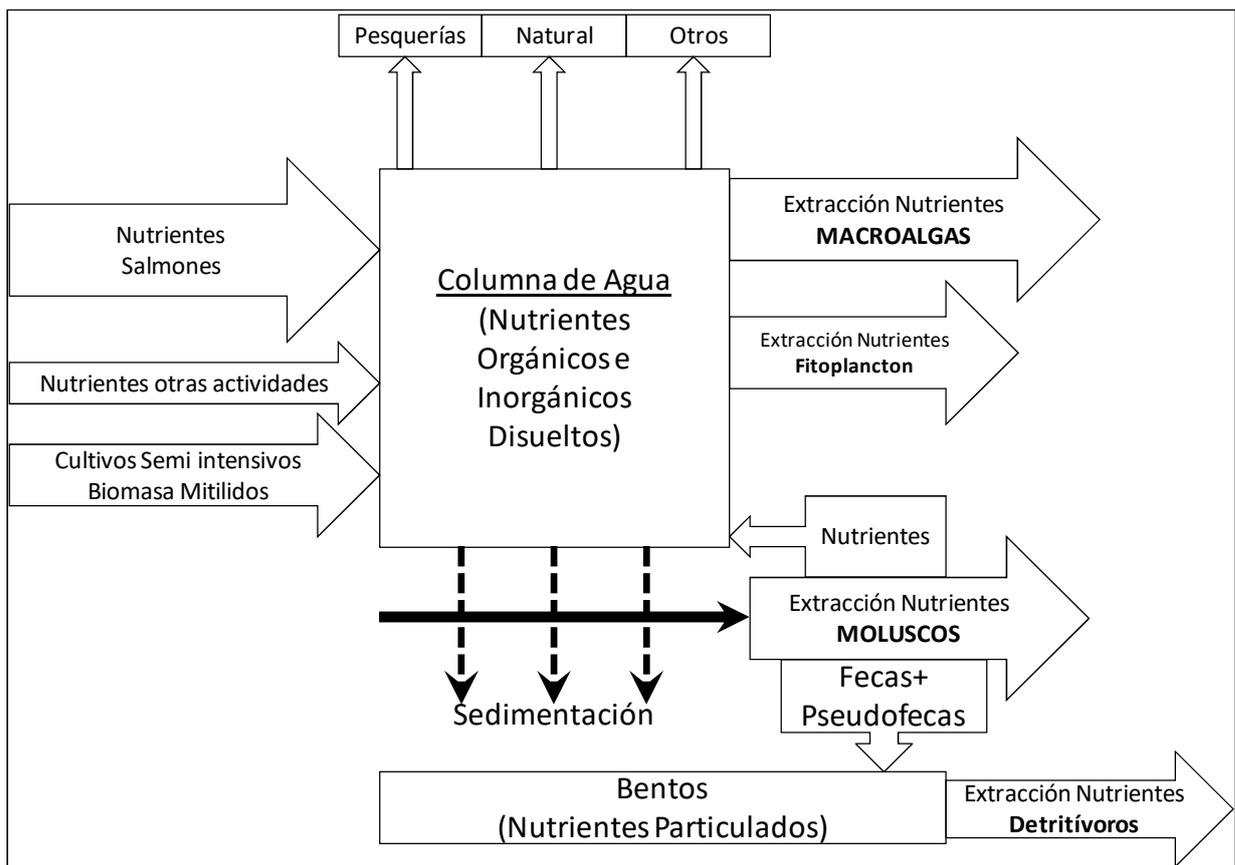
**3.4.- Objetivo 4. Realizar una comparación ambiental entre monocultivos y policultivos que describa las ventajas y desventajas de su aplicación en el medio marino a partir de antecedentes técnicos recopilados en el estudio.**

Los tres modelos de crecimiento, o unidades de cultivo multitrófico, interactúan entre sí y con el ambiente circundante, y están conectadas vías procesos que afectan la liberación y asimilación de Nitrógeno Orgánico Particulado (PON) y Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN). Las funciones forzantes del modelo son parámetros ambientales con variaciones temporales que permiten conocer las interacciones entre los componentes del cultivo multitrófico y los efectos de los parámetros ambientales.

Un ambiente marino que es utilizado para el cultivo artificial de organismos, también es modificado por otras actividades o procesos que aportan y retiran nutrientes (Figura 77b). Por ejemplo, la calidad trófica de una concesión de cultivo de salmones interaccionaría con los aportes de nutrientes de actividades productivas como la agricultura, silvicultura, industrias y actividades urbanas, como también por actividades de cultivo semiintensivo (v.g. mitilicultura). Esta última, si bien no incorpora nutrientes (alimentación exógena), sí modifica el ambiente al introducir líneas de cultivo con densidades mayores a las naturales, alterando de este modo el aporte natural de nutrientes al ambiente: los mitílidos son capaces de concentrar el fitoplancton y nutrientes orgánicos particulados y modificar la sedimentación sobre el bentos: fecas y pseudofecas. Por otro lado, los módulos de extracción de nutrientes incluyen las pesquerías y otros procesos naturales como la extracción por parte de animales de niveles tróficos superiores (v.g. consumo por parte de aves y mamíferos) y la productividad primaria. Como estrategias de respuesta al aporte de nutrientes por parte de la acuicultura, los científicos proponen el cultivo asociado de macroalgas, moluscos y detritívoros, que ayuden a alcanzar un equilibrio natural determinado (Figura 77 b). Las macroalgas son capaces de hacer uso de los nutrientes inorgánicos disueltos, aportando con su cosecha a la extracción de una fracción de los nutrientes incorporados artificialmente al ambiente. Con la inclusión de moluscos filtradores, en nuestro caso mitílidos, se logra la extracción de nutrientes orgánicos particulados como los aportados por los residuos provenientes de las balsas jaulas en la

forma de fecas y residuos del alimento peletizado. Sin embargo, como se analizara más arriba, los mitilidos se alimentan de preferencia de fitoplancton. El fitoplancton se ve beneficiado con los mayores aportes de nutrientes inorgánicos al sistema, aumentando de este modo la oferta de alimento de buena calidad para los mitilidos. Así, los mitilidos también aportan con un servicio de extracción de exceso de nutrientes a través del consumo de fitoplancton.

Por otro lado, hay un significativo aporte de nutrientes al bentos, representado por la materia orgánica particulada (MOP) generada por los heces y restos de alimento que sedimentan al fondo marino, como por las fecas y pseudofecas aportadas por los mitilidos. De este modo, es clave considerar la inclusión de organismos detritívoros a la configuración de los cultivos multitroóficos.



**Figura 77b.** Modelo conceptual general de la incorporación y extracción de nutrientes en un ambiente que contiene una actividad de cultivo intensivo y semi-intensivo.

### **3.4.1.- Cálculo del Flujo de Nutrientes y componentes para el Cultivo de Salmones**

El Centro de Cultivo de Salmón del Atlántico utilizado para instalar las líneas experimentales de choritos y macroalgas, comenzó a operar en julio de 2014 y finalizó con la cosecha en enero de 2016. A continuación se estima el flujo de nutrientes de este monocultivo para el periodo de operación de engorda señalado. Esto permitirá evaluar la estrategia de remediación sobre los nutrientes generados.

- Fecha de ingreso de smolt: Julio – Agosto 2014
- Número de peces ingresados: 960.000
- Peso promedio inicial: 148 gr.
- Fecha programada de cosecha: Octubre a Diciembre 2015
  
- Biomasa estimada a cosecha: 3.240 ton.
- Número de jaulas y tamaño (cuadradas): 16 jaulas 30x30

Para este fin se utiliza el modelo propuesto por (Wang, et al., 2012). Se entregará planilla Excel con los cálculos realizados.

#### **3.4.1.1.- Primer periodo de cálculo: Ciclo de producción completo**

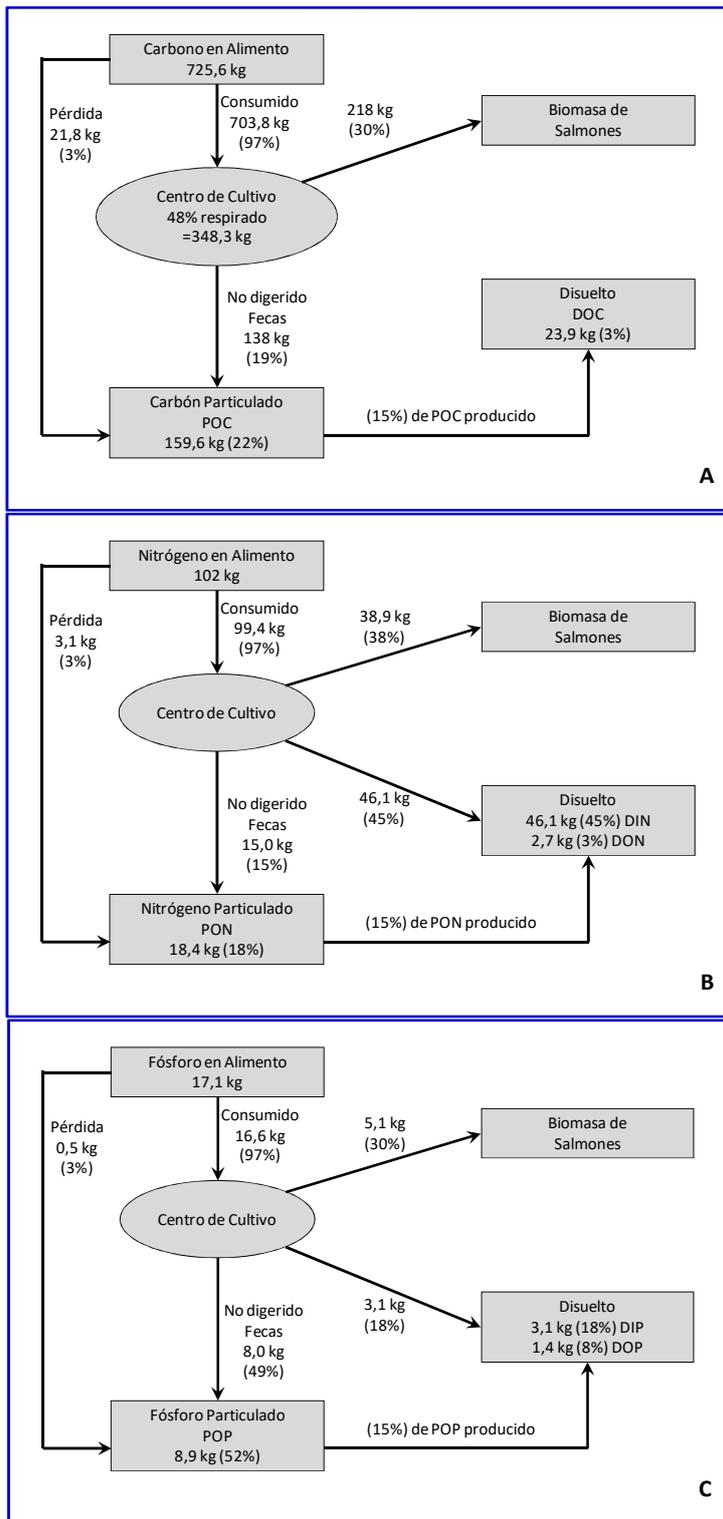
A continuación, se entrega una estimación de los flujos de nutrientes para el ciclo completo de engorda (Julio de 2014 a enero de 2016) en el centro de cultivo donde se realizaron los experimentos IMTA, es decir, desde la siembra en julio-agosto de 2014 hasta la cosecha el 25 de enero de 2016.

FCR= 1,56

Alimento Total Entregado= 7.058.766 kg peso húmedo

Biomasa total cosechada= 4.525 ton.

Basado en el modelo explicado más arriba, se estimó la cantidad de nutrientes liberados por el centro de cultivo de salmones, cuyos resultados se entregan en la Figura 78.



**Figura 78.** Flujo de nutrientes para el periodo de engorda en centro de cultivo de salmones usado como sitio de experimentación IMTA (kg/t producida x año) y componentes (kg t<sup>-1</sup> producida). (A) C, (B) N y (C) P.

La incorporación total de C, N y P (DW, peso seco) a través del alimento durante el ciclo de producción fue de 3.283, 464 y 77 ton (Tabla 9), respectivamente, y la producción total de salmón fue de 4.525.850 kg (peso húmedo). Del total de alimento incorporado, 70% C, 62% N y 70% P, fueron liberados al medio ambiente como residuos inorgánicos y orgánicos, correspondientes a 507,9; 63,5 y, 12,0 toneladas de nutrientes por biomasa de salmón producida (WW, peso húmedo) (Tabla 10).

El balance de masa del Carbono muestra que el 48% del total de Carbono incorporado en el alimento fue respirado por los peces, el 19% fue liberado en las fecas y el 30% fue usado para el crecimiento (Figura 78A). Se asume una pérdida de alimento del 3% (21,8 kg de C/ton húmeda de salmón cosechado) que es incorporado al sedimento como POC. Aproximadamente el 15% de este POC es re-suspendido incorporándose como Carbono Orgánico Disuelto (DOC) (Figura 78A y Tabla 11).

**Tabla 9.** Balance de nutrientes en el alimento entregado a los salmones. La masa de nutrientes incorporada al agua con el alimento, se calcula en base a peso seco del pelet.

Alimento Total entregado DW (ton)	6.438
% C en alimento	51,0
% N en alimento	7,2
% P en alimento	1,2
C (ton) incorporado al agua	3.283
N (ton) incorporado al agua	464
P (ton) incorporado al agua	77

**Tabla 10.** Balance de masa de nutrientes totales liberados en el ciclo de engorda de salmón en centro de cultivo de salmones usados en el experimento IMTA

	%	Ton/Biomasa Húmeda
% de C liberado al ambiente como residuos inorgánicos y orgánicos	70	507,9
% de N liberado al ambiente como residuos inorgánicos y orgánicos	62	63,5
% de P liberado al ambiente como residuos inorgánicos y orgánicos	70	12,0

**Tabla 11.** Balance de masa de nutrientes liberados en el ciclo de engorda de salmón en centro de cultivo

kg/ton producida

<b>C<sub>respirado</sub></b>	<b>POC</b>	<b>DOC</b>
348,3	159,6	23,9

<b>DIN</b>	<b>PON</b>	<b>DON</b>
46,1	18,4	2,7

<b>DIP</b>	<b>POP</b>	<b>DOP</b>
3,1	8,9	1,4

El balance de masa del nitrógeno (Figura 78B) indicó que el 38% del total de N incorporado con el alimento fue incorporado y cosechado con la biomasa de salmónes, 45% se perdió como DIN y 15% fue liberado como PON. Se asume una pérdida de alimento del 3% (3,1 kg de N/ton húmeda de salmón cosechado) que es incorporado al sedimento como PON. Aproximadamente el 15% de este PON es re-suspendido incorporándose como Nitrógeno Orgánico Disuelto (DON) (Figura 78B y Tabla 11).

Del total de P incorporado con el alimento, 30% fue retenido y cosechado con los salmónes, 52% fue liberado como POP y 18% se perdió como DIP (Figura 78C). Se asume una pérdida de alimento de 3% (0,5 kg de P/ton húmeda de salmón cosechado) que es incorporado al sedimento como POP. Aproximadamente el 15% de este POP es re-suspendido incorporándose como DOP (Figura 78C y Tabla 11).

#### **3.4.1.2.- Segundo periodo de cálculo: Producción de salmónes durante el periodo de realización de los experimentos AMTI**

Para los meses de octubre, noviembre, diciembre de 2015 y enero de 2016, se efectuaron estimaciones de aporte de nutrientes considerando sólo el alimento entregado durante este periodo (Tabla 12). Por ejemplo, se estimó el aporte de DIN para el alimento total entregado multiplicando el peso seco del alimento consumido por la fracción de N contenida en el alimento y por la fracción inorgánica disuelta de N [Peso Seco Alimento consumido (8,8% humedad) x %PS de N (7,2%) x DIN (45%)].

**Tabla 12.** Información productiva del cultivo de salmones y DIN generado durante el periodo de realización de los experimentos AMTI (Biomasa: kg; Alimento: kg Peso Seco; Densidad: kg.m<sup>-3</sup>)

Mes	N° Peces	Peso Promedio (kg)	Biomasa	Alimento Entregado	Densidad	Aporte de DIN (kg)
sep-15	770.611	4,3	3.318.097	421.276	11,5	
oct-15	760.112	4,9	3.696.045	535.311	12,8	16.824
nov-15	661.210	5,3	3.474.791	467.295	12,1	14.686
dic-15	523.051	5,7	2.960.782	409.109	10,3	12.857
ene-16	76.594	5,9	452.808	146.391	1,6	4.601

### 3.4.2- Potencial de Remoción de Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN) por las Macroalgas

Las Macroalgas tienen la habilidad de incorporar y remover los Nutrientes Inorgánicos Disueltos (DIN) provenientes de los cultivos de salmones en sistemas de cultivo Multitrófico Integrado en ambientes marinos (Kraemer, et al., 2004). Los Nutrientes Inorgánicos Disueltos (DIN) ( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ ) son los factores limitantes que determinan la productividad de las macroalgas en muchos ambientes marinos (Troell, et al., 2009).

La tasa de remoción de los DIN liberados desde estanques de cultivo en tierra varía de 35-100% a diferentes densidades y bajo diferentes diseños experimentales (Buschmann, et al., 1996b; Troell, et al., 2003).

Sin embargo, las tasas de remoción de las macroalgas en sistemas IMTA en mar abierto puede ser menor debido a la alta dilución.

Por ejemplo, se informa que 1 ha de *Gracilaria chilensis* co-cultivada en un centro de cultivo de salmónidos con una producción anual de de 227 ton, y una densidad de cultivo de 0,5 kg Peso Húmedo m<sup>-2</sup> a dos profundidades (1 y 3 m), podía extraer aproximadamente el 6,5 % del nitrógeno disuelto proveniente del centro de cultivo de salmónidos (Troell, et al., 1997). Se han usado también, mayores densidades de cultivo (1,5 a 7,0 kg Peso Húmedo m<sup>-2</sup>) de macroalgas para extraer nutrientes inorgánicos disueltos en efluentes de estanque de cultivo de peces en estudios previos (Buschmann, et al., 1994; Abreu, et al., 2011).

Para evaluar el potencial de producción de macroalgas cultivadas en asociación con centros de cultivo de salmones en sistemas de mar abierto, se asume que 10 a 30% del total de DIN liberado del cultivo de salmones puede ser asimilado por las macroalgas. Se asume que la producción de macroalgas co-cultivadas en sistema IMTA de mar abierto es de 70 ton de macroalgas frescas ha<sup>-1</sup> (Yang, et al., 2006).

#### **3.4.2.1.- Cálculos de Remoción del DIN generado en el ciclo productivo completo en el centro de cultivo de salmones usado para los experimentos IMTA**

Considerando como base los resultados y recomendaciones de experimentos realizados con *G. chilensis* co-cultivada con salmones en el sur de Chile (Abreu, et al., 2009), se presenta a continuación distintos escenarios de biomazas de *G. chilensis* necesarias para remover 100, 75, 50, 30 y 10% del DIN generado durante todo el ciclo de producción del centro de cultivo de salmones usado para los experimentos.

Abreu, et al. (2009) informan de tasas de remoción de 0,0075 kg N/m lineal/mes para líneas de cultivo instaladas a 100 m y de 0,0093 kg N/m lineal/mes a 800 m del centro de cultivo de salmónidos. Para efectos de cálculos en nuestro trabajo, se consideró una tasa de remoción de 0,008 kg N/m lineal/mes.

##### **3.4.2.1.1.- Diseño experimental del módulo de pelillo**

El diseño propuesto de cultivo de *G. chilensis* se basa en la experiencia obtenida en el presente proyecto, descrita en la sección 3.2.1.7.4.1. El largo de la cuelga de pelillo es de 4 m amarrado en sus extremos a un marco de 4x3 m. El número de cuelgas de pelillo en 100 m de línea madre es de 250 unidades: esto hace un total de 1.000 metros lineales de cultivo de pelillo por long-line (línea madre). La distancia entre líneas madres es de 8 m. La superficie cubierta por una línea madre es de 100x8m= 800 m<sup>2</sup>.

**3.4.2.1.2.- Primer Escenario:** Se considera una primera opción de remoción del 100% del DIN generado por un centro de cultivo de salmónes, con niveles de producción típicos de una unidad de cultivo de la industria salmonera del sur de Chile.

De acuerdo a las estimaciones informadas en los párrafos anteriores, este centro de cultivo de salmónes generó, teóricamente, 208.578 kg de DIN durante todo su ciclo de producción (18 meses). Se supone tres tasas de remoción: 0,008, 0,012 y 0,016 kg N/m lineal de algas correspondientes a 30, 45 y 60 días de cultivo (ciclos de cosecha), respectivamente (Tabla 13).

Para el caso de la remoción del 100% del DIN generado por el centro de cultivo a una tasa de remoción de 0,008 kg de N/m/mes, se requeriría instalar 5.183 ha de cultivo de pelillo. A una mayor tasa de remoción, la superficie necesaria de pelillo es menor. La generación de DIN está en función de la producción mensual de salmón, por lo que esta sección sólo constituye una estimación general de los volúmenes involucrados. En las siguientes secciones se afinarán las estimaciones al ciclo real de producción de DIN.

**Tabla 13.-** Simulación de remoción del 100% del DIN generado por el centro de cultivo de salmones

REMOCIÓN 100%			
		0,008 kg N/m/mes	
		0,012 kg N/m/45 días	
		0,016 kg N/m/2meses	
<b>208.578 kg DIN</b>	consumo en 1 mes	26.072.250 m de cultivo	6.518.063 número cuelgas verticales (4 m)
	consumo en 45 días	17.381.500 m de cultivo	4.345.375 número cuelgas verticales (4 m)
	consumo en 2 meses	13.036.125 m de cultivo	3.259.031 número cuelgas verticales (4 m)
<b>Usando Long-line 100 m cubre 800 m<sup>2</sup></b>			
		250 cuelgas verticales/longline	
		Extension del Cultivo (m <sup>2</sup> )	ha
consumo en 1 mes	26.072 Longline	20.857.800	2.086
consumo en 45 días	17.382 Longline	13.905.200	1.391
consumo en 2 meses	13.036 Longline	10.428.900	1.043

**3.4.2.1.3.- Escenarios de menor exigencia de Remoción.** Para simulaciones con menores niveles de remoción del N, la cantidad de líneas de cultivo de pelillo requerida es menor. Por ejemplo, si se considera como objetivo reducir un 10% el DIN liberado del centro de cultivo de salmones en los 18 meses de producción (10% de 208.578 kg de DIN= 20.858 kg de DIN) con un cultivo de pelillo de un ciclo de cosecha de dos meses, sólo se requeriría de aproximadamente 259 hectáreas de cultivo en long-lines (Tabla 14). Como la producción total de DIN en el centro de cultivo de salmones analizado ocurre durante un ciclo de producción de 18 meses, además que se considera un ciclo de cosecha de pelillo cada dos meses, la cantidad promedio a extraer por el cultivo de pelillo por ciclo de cosecha sería de 2.286 kg de DIN, correspondientes a un módulo de cultivo de pelillo de 28 ha.

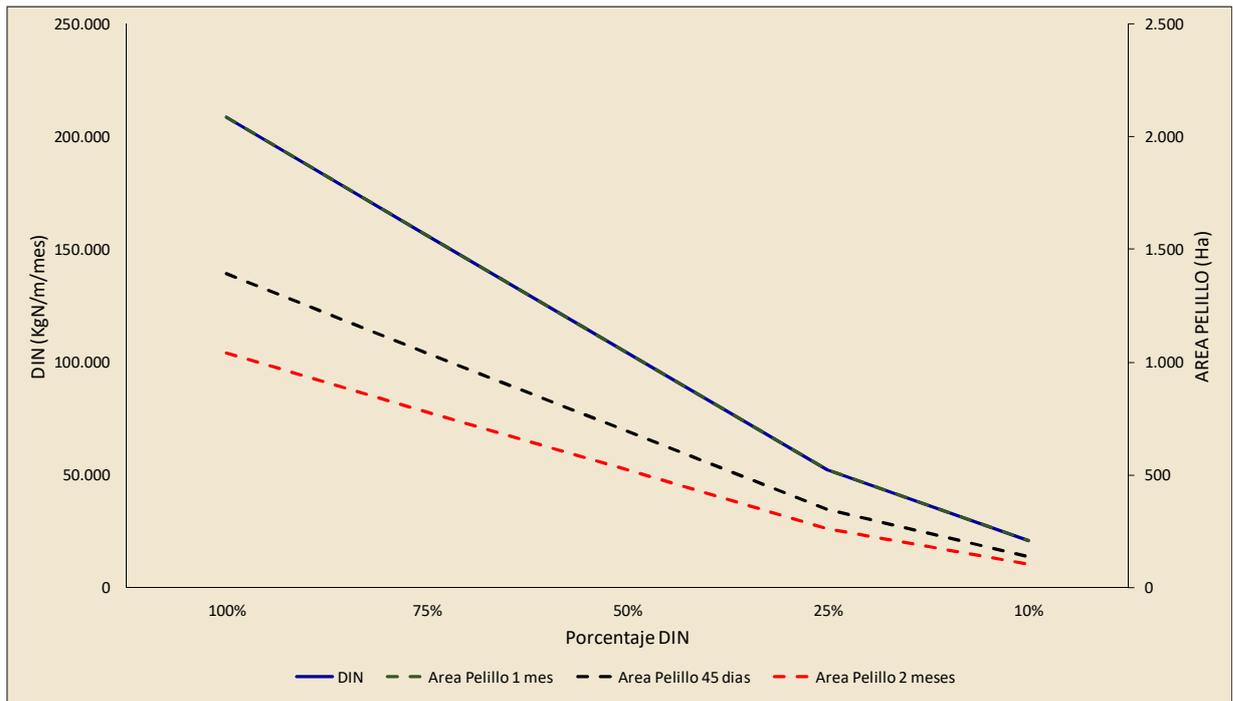
**Tabla 14.-** Simulaciones de remoción del 75, 50, 25 y 10% del DIN generado por el centro de cultivo de salmones y el área de pelillo necesaria para la bio-remediación.

<b>REMOCIÓN 75%</b>			
		0,008 kg N/m/mes	
		0,012 kg N/m/45 días	
		0,016 kg N/m/2meses	
<b>156.434 kg DIN</b>	consumo en 1 mes	19.554.188 m de cultivo	4.888.547 número cuelgas verticales (4 m)
	consumo en 45 días	13.036.125 m de cultivo	3.259.031 número cuelgas verticales (4 m)
	consumo en 2 meses	9.777.094 m de cultivo	2.444.273 número cuelgas verticales (4 m)
<b>Usando Long-line 100 m cubre 800 m<sup>2</sup></b>			
250 cuelgas verticales/longline			
		Extension del Cultivo (m <sup>2</sup> )	ha
consumo en 1 mes	19.554 Longline	15.643.350	1.564
consumo en 45 días	13.036 Longline	10.428.900	1.043
consumo en 2 meses	9.777 Longline	7.821.675	782
<b>REMOCIÓN 50%</b>			
		0,008 kgN/m/mes	
		0,012 kgN/m/45 días	
		0,016 kg N/m/2meses	
<b>104.289 kg DIN</b>	consumo en 1 mes	13.036.125 m de cultivo	3.259.031 número cuelgas verticales (4 m)
	consumo en 45 días	8.690.750 m de cultivo	2.172.688 número cuelgas verticales (4 m)
	consumo en 2 mes	6.518.063 m de cultivo	1.629.516 número cuelgas verticales (4 m)
<b>Usando Long-line 100 m cubre 800 m<sup>2</sup></b>			
250 cuelgas verticales/longline			
		Extension del Cultivo (m <sup>2</sup> )	ha
consumo en 1 mes	13.036 Longline	10.428.900	1.043
consumo en 45 días	8.691 Longline	6.952.600	695
consumo en 2 mes	6.518 Longline	5.214.450	521

Tabla 14.- Continuación

REMOCIÓN 25%					
				0,008 kgN/m/mes	
				0,012 kgN/m/45 días	
				0,016 kg N/m/2meses	
<b>52.145 kg DIN</b>	consumo en	6.518.063	m de cultivo		
	1 mes	1.629.516	numero cuelgas verticales (4 m)		
	consumo en	4.345.375	m de cultivo		
	45 días	1.086.344	numero cuelgas verticales (4 m)		
	consumo en	3.259.031	m de cultivo		
	2 mes	814.758	numero cuelgas verticales (4 m)		
Usando Long-line 100 m cubre <b>800 m<sup>2</sup></b>					
250 cuelgas verticales/longline					
			Extension del Cultivo (m2)	ha	
consumo en	6.518	Longline	5.214.450	521	
1 mes					
consumo en	4.345	Longline	3.476.300	348	
45 días					
consumo en	3.259	Longline	2.607.225	261	
2 mes					
REMOCIÓN 10%					
				0,008 kgN/m/mes	
				0,012 kgN/m/45 días	
				0,016 kg N/m/2meses	
<b>20.858 kg DIN</b>	consumo en	2.607.225	m de cultivo		
	1 mes	651.806	numero cuelgas verticales (4 m)		
	consumo en	1.738.150	m de cultivo		
	45 días	434.538	numero cuelgas verticales (4 m)		
	consumo en	1.303.613	m de cultivo		
	2 mes	325.903	numero cuelgas verticales (4 m)		
Usando Long-line 100 m cubre <b>800 m<sup>2</sup></b>					
250 cuelgas verticales/longline					
			Extension del Cultivo (m2)	ha	
consumo en	2.607	Longline	2.085.780	209	
1 mes					
consumo en	1.738	Longline	1.390.520	139	
45 días					
consumo en	1.304	Longline	1.042.890	104	
2 mes					

En la Figura 79, se muestra que mientras menor es el porcentaje de DIN que se fije como meta extraer de la masa total de DIN generada por la operación de un centro de cultivo de salmones, menor será la superficie de pelillo necesaria instalar en las inmediaciones de una concesión de cultivo de salmones.



**Figura 79.** Simulación de escenarios de superficie de líneas de pelillo necesaria para extraer la masa total de DIN generada por el centro de cultivo de salmones industrial durante todo su ciclo de producción, en función de distintas fracciones a remover.

### 3.4.2.2.- Cálculos de Remoción del DIN generados durante el periodo de realización de los experimentos IMTA en el centro de cultivo de salmones.

Con el objetivo de evaluar las exigencias y desempeño de la remoción de DIN por parte de las líneas de pelillo instaladas durante los meses de experimentación (octubre, noviembre, diciembre de 2015 y enero de 2016), se presentan los cálculos para la remoción de los DIN generados por el centro de cultivo de salmones mensualmente, bajo cinco escenarios de remoción: 100, 75, 50, 25 y 10% (Tabla 15 y 16). Se observa que a menor porcentaje a extraer de DIN, la superficie necesaria de cultivo de pelillo es menor.

Sin embargo, si se considera que en el mes de enero de 2016 el centro de cultivo se encontraba pronto de finalizar la cosecha de sus peces y que la cantidad de alimento entregado fue de sólo 160.516 kg (el máximo fue de 586.964 kg en octubre), y con una exigencia de extraer un 10% del DIN generado, la superficie necesaria para este fin es de 5 hectáreas. Esto equivale a la instalación de 58 líneas de cultivo suspendido de pelillo en una franja de aproximadamente 100 m de ancho por 500 m de largo.

Si se hace este mismo ejercicio para el mes de octubre cuando se incorporó la mayor cantidad de alimento (586.964 kg equivalente a 16.824 kg de DIN), la superficie necesaria para instalar un cultivo de pelillo que remueva el 10% del DIN generado, es de 17 hectáreas equivalente a una franja de 100 m de ancho por 1.700 m de largo.

**Tabla 15.-** Hectáreas necesarias para extraer fracciones de DIN generados en octubre, noviembre, diciembre y enero, bajo cinco escenarios de remoción: 100, 75, 50, 25 y 10%

	Fracción a Remover				
	100%	75%	50%	25%	10%
	Hectáreas				
<b>OCT</b>	168	126	84	42	17
<b>NOV</b>	147	110	73	37	15
<b>DIC</b>	129	96	64	32	13
<b>ENE</b>	46	35	23	12	5

**Tabla 16.-** Simulaciones de remoción de 100, 75, 50, 25 y 10% del DIN generado por los salmones y el área de pelillo necesaria para la bio-remediación, durante periodo de experimentación.

<b>REMOCIÓN 100%</b>					
<b>OCT</b>	<b>16.824</b>	consumo en 1 mes	2.103.000 m de cultivo 525.750 número cuelgas verticales (4 m)		
Usando Long-line 100 m cubre <b>800 m<sup>2</sup></b> 250 cuelgas verticales/longline					
consumo en 1 mes		2.103 Longline	Extensión del Cultivo (m <sup>2</sup> ) 1.682.400 → <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="text-align: center;">ha</td></tr><tr><td style="text-align: center;">168</td></tr></table>	ha	168
ha					
168					
<b>NOV</b>	<b>14.686</b>	consumo en 1 mes	1.835.750 m de cultivo 458.938 número cuelgas verticales (4 m)		
Usando Long-line 100 m cubre <b>800 m<sup>2</sup></b> 250 cuelgas verticales/longline					
consumo en 1 mes		1.836 Longline	Extensión del Cultivo (m <sup>2</sup> ) 1.468.600 → <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="text-align: center;">ha</td></tr><tr><td style="text-align: center;">147</td></tr></table>	ha	147
ha					
147					
<b>DIC</b>	<b>12.857</b>	consumo en 1 mes	1.607.125 m de cultivo 401.781 número cuelgas verticales (4 m)		
Usando Long-line 100 m cubre <b>800 m<sup>2</sup></b> 250 cuelgas verticales/longline					
consumo en 1 mes		1.607 Longline	Extensión del Cultivo (m <sup>2</sup> ) 1.285.700 → <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="text-align: center;">ha</td></tr><tr><td style="text-align: center;">129</td></tr></table>	ha	129
ha					
129					
<b>ENE</b>	<b>4.601</b>	consumo en 1 mes	575.125 m de cultivo 143.781 número cuelgas verticales (4 m)		
Usando Long-line 100 m cubre <b>800 m<sup>2</sup></b> 250 cuelgas verticales/longline					
consumo en 1 mes		575 Longline	Extensión del Cultivo (m <sup>2</sup> ) 460.100 → <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="text-align: center;">ha</td></tr><tr><td style="text-align: center;">46</td></tr></table>	ha	46
ha					
46					

Tabla 16. Continuación

<b>REMOCIÓN 75%</b>					
<b>OCT</b>	<b>12.618</b>	consumo en 1 mes	<p>1.577.250 m de cultivo</p> <p>394.313 numero cuelgas verticales (4 m)</p> <p>Usando Long-line 100 m cubre <b>800 m<sup>2</sup></b></p> <p>250 cuelgas verticales/longline</p> <p style="text-align: right;">Extension del Cultivo (m2)</p> <p>consumo en 1.577 Longline 1.261.800 →</p> <p>consumo en 1 mes</p> <table border="1" style="float: right; margin-left: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px;">ha</td></tr> <tr><td style="text-align: center; padding: 2px;"><b>126</b></td></tr> </table>	ha	<b>126</b>
ha					
<b>126</b>					
<b>NOV</b>	<b>11.015</b>	consumo en 1 mes	<p>1.376.813 m de cultivo</p> <p>344.203 numero cuelgas verticales (4 m)</p> <p>Usando Long-line 100 m cubre <b>800 m<sup>2</sup></b></p> <p>250 cuelgas verticales/longline</p> <p style="text-align: right;">Extension del Cultivo (m2)</p> <p>consumo en 1.377 Longline 1.101.450 →</p> <p>consumo en 1 mes</p> <table border="1" style="float: right; margin-left: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px;">ha</td></tr> <tr><td style="text-align: center; padding: 2px;"><b>110</b></td></tr> </table>	ha	<b>110</b>
ha					
<b>110</b>					
<b>DIC</b>	<b>9.643</b>	consumo en 1 mes	<p>1.205.344 m de cultivo</p> <p>301.336 numero cuelgas verticales (4 m)</p> <p>Usando Long-line 100 m cubre <b>800 m<sup>2</sup></b></p> <p>250 cuelgas verticales/longline</p> <p style="text-align: right;">Extension del Cultivo (m2)</p> <p>consumo en 1.205 Longline 964.275 →</p> <p>consumo en 1 mes</p> <table border="1" style="float: right; margin-left: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px;">ha</td></tr> <tr><td style="text-align: center; padding: 2px;"><b>96</b></td></tr> </table>	ha	<b>96</b>
ha					
<b>96</b>					
<b>ENE</b>	<b>3.451</b>	consumo en 1 mes	<p>431.344 m de cultivo</p> <p>107.836 numero cuelgas verticales (4 m)</p> <p>Usando Long-line 100 m cubre <b>800 m<sup>2</sup></b></p> <p>250 cuelgas verticales/longline</p> <p style="text-align: right;">Extension del Cultivo (m2)</p> <p>consumo en 431 Longline 345.075 →</p> <p>consumo en 1 mes</p> <table border="1" style="float: right; margin-left: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px;">ha</td></tr> <tr><td style="text-align: center; padding: 2px;"><b>35</b></td></tr> </table>	ha	<b>35</b>
ha					
<b>35</b>					

Tabla 16. Continuación

REMOCIÓN 50%							
<b>OCT</b>	<b>8.412</b>	consumo en 1 mes	1.051.500 m de cultivo 262.875 numero cuelgas verticales (4 m)				
Usando Long-line 100 m cubre 800 m <sup>2</sup>							
250 cuelgas verticales/longline							
		1.052 Longline	Extension del Cultivo (m2) 841.200	→	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td style="text-align: center;">ha</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">84</td></tr> </table>	ha	84
ha							
84							
		consumo en 1 mes					
<b>NOV</b>	<b>7.343</b>	consumo en 1 mes	917.875 m de cultivo 229.469 numero cuelgas verticales (4 m)				
Usando Long-line 100 m cubre 800 m <sup>2</sup>							
250 cuelgas verticales/longline							
		918 Longline	Extension del Cultivo (m2) 734.300	→	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td style="text-align: center;">ha</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">73</td></tr> </table>	ha	73
ha							
73							
		consumo en 1 mes					
<b>DIC</b>	<b>6.429</b>	consumo en 1 mes	803.563 m de cultivo 200.891 numero cuelgas verticales (4 m)				
Usando Long-line 100 m cubre 800 m <sup>2</sup>							
250 cuelgas verticales/longline							
		804 Longline	Extension del Cultivo (m2) 642.850	→	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td style="text-align: center;">ha</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">64</td></tr> </table>	ha	64
ha							
64							
		consumo en 1 mes					
<b>ENE</b>	<b>2.301</b>	consumo en 1 mes	287.563 m de cultivo 71.891 numero cuelgas verticales (4 m)				
Usando Long-line 100 m cubre 800 m <sup>2</sup>							
250 cuelgas verticales/longline							
		288 Longline	Extension del Cultivo (m2) 230.050	→	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td style="text-align: center;">ha</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">23</td></tr> </table>	ha	23
ha							
23							
		consumo en 1 mes					

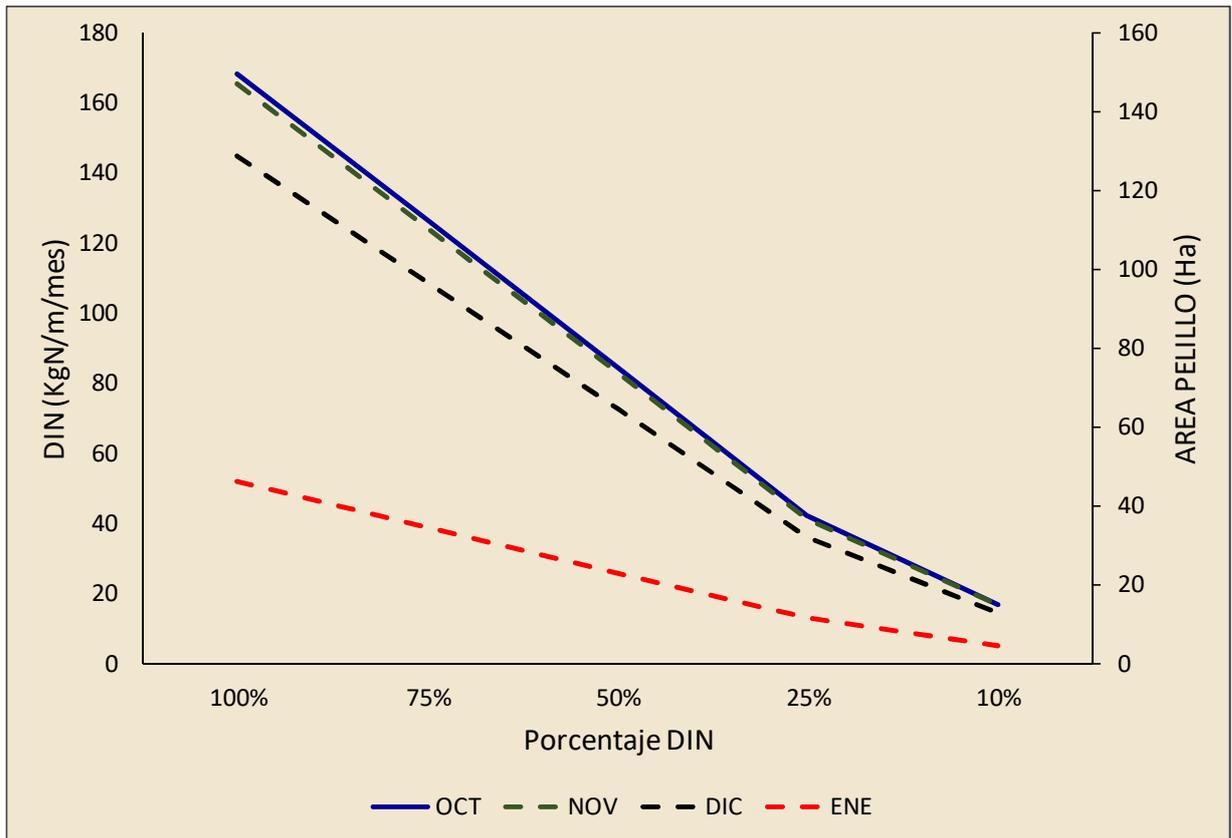
Tabla 16. Continuación

REMOCIÓN 25%					
<b>OCT</b>	<b>4.206</b>	consumo en 1 mes	525.750 m de cultivo 131.438 numero cuelgas verticales (4 m)		
<b>Usando Long-line 100 m cubre 800 m<sup>2</sup></b>					
250 cuelgas verticales/longline					
		526 Longline		Extension del Cultivo (m2) 420.600	ha 42
		consumo en 1 mes		→	
<b>NOV</b>	<b>3.672</b>	consumo en 1 mes	458.938 m de cultivo 114.734 numero cuelgas verticales (4 m)		
<b>Usando Long-line 100 m cubre 800 m<sup>2</sup></b>					
250 cuelgas verticales/longline					
		459 Longline		Extension del Cultivo (m2) 367.150	ha 37
		consumo en 1 mes		→	
<b>DIC</b>	<b>3.214</b>	consumo en 1 mes	401.781 m de cultivo 100.445 numero cuelgas verticales (4 m)		
<b>Usando Long-line 100 m cubre 800 m<sup>2</sup></b>					
250 cuelgas verticales/longline					
		402 Longline		Extension del Cultivo (m2) 321.425	ha 32
		consumo en 1 mes		→	
<b>ENE</b>	<b>1.150</b>	consumo en 1 mes	143.781 m de cultivo 35.945 numero cuelgas verticales (4 m)		
<b>Usando Long-line 100 m cubre 800 m<sup>2</sup></b>					
250 cuelgas verticales/longline					
		144 Longline		Extension del Cultivo (m2) 115.025	ha 12
		consumo en 1 mes		→	

Tabla 16. Continuación

REMOCIÓN 10%					
<b>OCT</b>	<b>1.682</b>	consumo en 1 mes	210.300 m de cultivo 52.575 numero cuelgas verticales (4 m)		
<b>Usando Long-line 100 m cubre 800 m<sup>2</sup></b>					
250 cuelgas verticales/longline					
		210 Longline		Extension del Cultivo (m2) 168.240	ha 17
		consumo en 1 mes		→	
<b>NOV</b>	<b>1.469</b>	consumo en 1 mes	183.575 m de cultivo 45.894 numero cuelgas verticales (4 m)		
<b>Usando Long-line 100 m cubre 800 m<sup>2</sup></b>					
250 cuelgas verticales/longline					
		184 Longline		Extension del Cultivo (m2) 146.860	ha 15
		consumo en 1 mes		→	
<b>DIC</b>	<b>1.286</b>	consumo en 1 mes	160.713 m de cultivo 40.178 numero cuelgas verticales (4 m)		
<b>Usando Long-line 100 m cubre 800 m<sup>2</sup></b>					
250 cuelgas verticales/longline					
		161 Longline		Extension del Cultivo (m2) 128.570	ha 13
		consumo en 1 mes		→	
<b>ENE</b>	<b>460</b>	consumo en 1 mes	57.513 m de cultivo 14.378 numero cuelgas verticales (4 m)		
<b>Usando Long-line 100 m cubre 800 m<sup>2</sup></b>					
250 cuelgas verticales/longline					
		58 Longline		Extension del Cultivo (m2) 46.010	ha 5
		consumo en 1 mes		→	

En la Figura 80, se muestra que mientras menor porcentaje de DIN se fije como meta a extraer de la masa total de DIN generada por la operación de un centro de cultivo de salmones durante los meses de experimentación IMTA, menor es la superficie de pelillo necesaria instalar en las inmediaciones de la concesión de cultivo acuicultura



**Figura 80.** Simulación de escenarios de superficie de líneas de pelillo necesaria para extraer la masa de DIN mensual generada por el centro de cultivo de salmones durante el periodo de ejecución de los experimentos IMTA.

### 3.4.2.3. Aportes de nutrientes por la salmonicultura en 2014 en las regiones X y XI.

El aporte de estas regiones a la producción nacional de salmón cosechado representan el 49,0% (X Región) y 46,9% (XI Región), constituyendo casi el 96% del nacional. Además, el salmón del Atlántico (*S. salar*) representa el 67,5% de las especies cosechadas y, trucha arcoíris (*O. mykiss*) y coho (*O. kisutch*), representan el 15,9% y 16,6%, respectivamente. Por lo tanto, se compara el aporte de las tres especies en conjunto para la Región de Los Lagos y de Aysén (Tabla 17).

**Tabla 17.** Cosecha de salmónidos en las Regiones X y XI. Estimación de alimento entregado se hace en base a  $FCR_{EC}$  promedio para la industria, por especie (Estadísticas Sernapesca, 2014)

		ton	$FCR_{EC}$	Alimento (kg)
<b>X Región</b>	<i>S. salar</i>	266.451	1,54	410.334.540
	<i>O. kisutch</i>	126.873	1,29	163.666.170
	<i>O. mykiss</i>	74.975	1,66	124.458.500
<b>XI Región</b>	<i>S. salar</i>	341.594	1,54	526.054.760
	<i>O. kisutch</i>	32.071	1,29	41.371.590
	<i>O. mykiss</i>	73.858	1,66	122.604.280

En 2014 se reportó una cosecha total de 915.822 ton de las tres especies de salmón, lo que requirió, de acuerdo de los  $FCR_{EC}$  estimados como típicos por especie para la industria salmonera chilena, un total de aproximadamente 1.388.490 ton de alimento.

Tabla 18.- Balance de nutrientes generados por la industria de salmones en las X y XI Regiones de Chile en 2014 (kg/ton peso húmedo de salmón producido).

<b>X y XI R</b>	<b>C<sub>respirado</sub></b>	<b>POC</b>	<b>DOC</b>
	360,0	165,0	24,8
	<b>DIN</b>	<b>PON</b>	<b>DON</b>
	47,6	19,1	2,8
	<b>DIP</b>	<b>POP</b>	<b>DOP</b>
	3,2	9,2	1,4

	<b>DIN:DIP</b>	<b>DON:DOP</b>	<b>PON:POP</b>	<b>TN:TP</b>
<b>X y XI R</b>	15,0	2,0	2,1	5,3

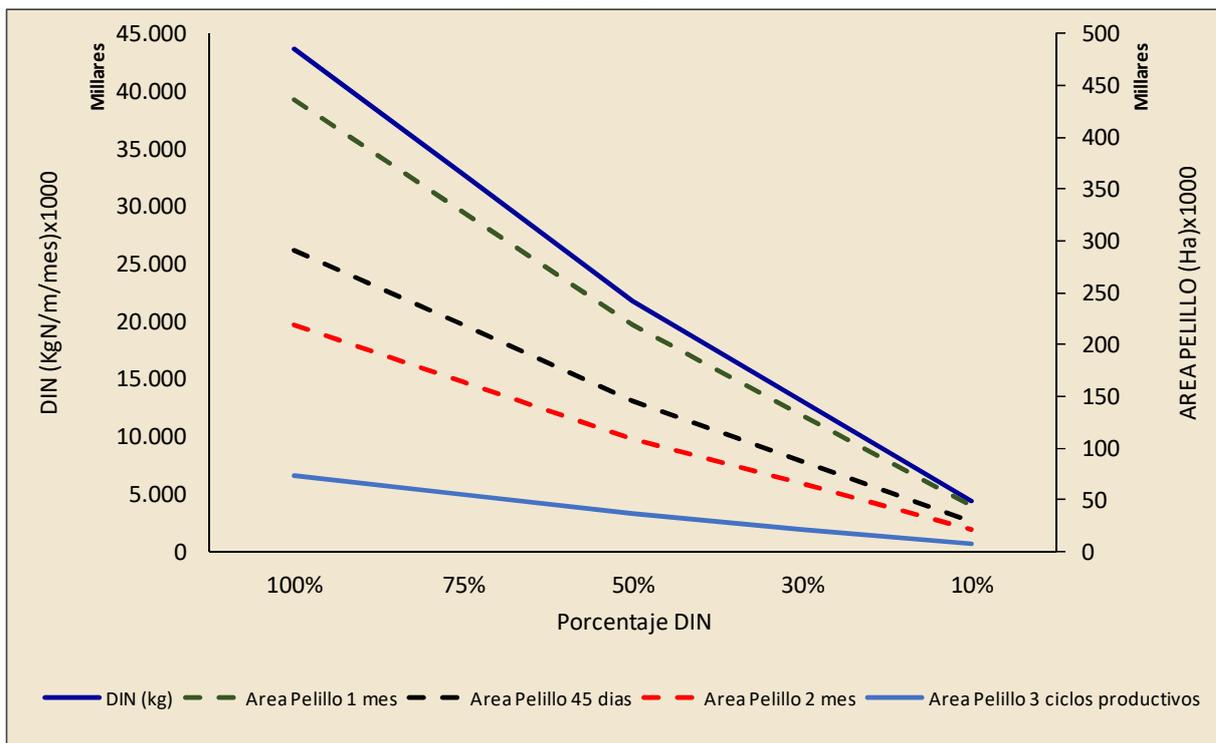
El Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN) generado en el periodo analizado fue de 47,6 kg/ton salmón producido peso húmedo (Tabla 18), lo que equivale a 43.636 ton, masa que permite evaluar la superficie de cultivo de pelillo que es necesario para remover bajo distintos escenarios (Tabla 19).

**Tabla 19.-** Simulaciones de remoción del 100, 75, 50, 25 y 10% del DIN generado por el cultivo de salmones cosechado en 2014 en todo el sur de Chile y el área de pelillo necesaria para la bio-remediación (Área: m<sup>2</sup>).

	<b>100%</b>	<b>75%</b>	<b>50%</b>	<b>30%</b>	<b>10%</b>
<b>DIN (kg)</b>	43.635.693	32.726.769	21.817.846	13.090.708	4.363.569
Area Pelillo 1 mes	436.357	327.268	218.178	130.907	43.636
Area Pelillo 45 días	290.905	218.178	145.452	87.271	29.090
Area Pelillo 2 mes	218.178	163.634	109.089	65.454	21.818

	<b>100%</b>	<b>75%</b>	<b>50%</b>	<b>30%</b>	<b>10%</b>
<b>Área Pelillo 3 ciclos productivos (m<sup>2</sup>)</b>	<b>72.726</b>	<b>54.545</b>	<b>36.363</b>	<b>21.818</b>	<b>7.273</b>

Se presenta también la superficie necesaria de pelillo en un régimen de 3 ciclos productivos, necesarias para extraer el DIN generado por la industria salmonera en 2014 (Tabla 19, inferior). El área necesaria de acuerdo a esta estrategia de cultivo y cosecha de pelillo es mucho menor que la estimada más arriba.



**Figura 81.** Simulación de escenarios de superficie de líneas de pelillo necesaria para extraer la masa de DIN total generada por la industria del cultivo de salmón en 2014.

A medida que disminuye la proporción de DIN deseada remover del agua, la superficie de pelillo necesaria disminuye (Figura 81)

#### 3.4.2.4. Otros Modelos: Área necesaria para remover DIN según otras propuestas

Un estudio realizado en Noruega (Wang, et al., 2012), propone una estrategia alternativa para estimar el área necesaria para extraer los nutrientes incorporados por el cultivo de salmones. Para evaluar el potencial de un cultivo de macroalgas co-cultivadas con salmón en un sistema IMTA en aguas abiertas, asumieron que 10-30% del DIN total liberado desde el cultivo de salmones puede ser asimilado por las macroalgas.

Al calcular con nuestro modelo el área necesaria para remediar un volumen de 350 ton de DIN con una tasa de remoción del 10%, nos indica un área necesaria de 35 km<sup>2</sup>: con el modelo noruego se estima un área necesaria de 8 km<sup>2</sup>. En nuestro modelo consideramos

una separación entre líneas de cultivo de pelillo de 8 m, por lo que si disminuimos esta distancia o aumentamos la densidad de pelillo ( $\text{kg m}^{-2}$ ) en el cultivo bioremediador, esta área disminuye, por ejemplo, a  $18 \text{ km}^2$  con una distancia entre líneas de 4 m, o a  $8 \text{ km}^2$  con una distancia entre líneas de 2 m.

Los anterior indica que la capacidad de un cultivo de macroalgas para extraer DIN generado por un cultivo de salmones, va a depender de la configuración (ingeniería) de los módulos de cultivo de macroalgas tanto para mejorar su eficiencia de remoción como para la resistencia a las condiciones imperantes en la zona de operación o su interferencia con otras actividades de uso del borde costero. No obstante, el factor central para un impacto significativo en la estrategia bioremediadora de las macroalgas, es la superficie de agua a cubrir alrededor de los centros de cultivo de salmones.

Respecto a nuestros resultados, la respuesta en crecimiento de *G. chilensis* estuvo dentro de los rangos informados en otros estudios en Chile como también en informes con otras especies de *Gracilaria*.

En general, la tasa de crecimiento diario en biomasa del pelillo fue mayor en las cercanías del módulo de cultivo de salmones respecto a los controles: 3% versus 1%. Consecuentemente, también se registró una diferencia de de biomasa de hasta 2 veces mayor en las líneas tratamiento respecto a los controles. Las diferencias en la tasa de crecimiento entre sectores del módulo de salmones se podrían relacionar a interferencias con las operaciones del centro de cultivo, que en muchas ocasiones resultó en daños a las líneas que obligaron a realizar constantes reparaciones.

Para la luga roja (*G. skottsbergii*), la tasa de crecimiento diario durante el primer periodo de cultivo fluctuó entre 0.52% y 0,90 %, no observando diferencias significativas. Al final de los 100 días de cultivo, la tasa de crecimiento promedio en biomasa fluctuó entre 0.49% y 0,85 %, observándose diferencias significativas entre las algas cultivadas en el NW y los controles.

El menor crecimiento de *G. skottsbergii* se explicaría en que su tasa de crecimiento es muy inferior a la tasa de crecimiento de *G. chilensis*, por lo que no respondería a una mayor

oferta de nutrientes, como sí responde el pelillo. La luga roja, a pesar de tener un mayor precio en el mercado, no tiene un potencial de crecimiento que responda a una mayor oferta de nutrientes.

Finalmente, de acuerdo a la información recopilada sobre las capacidades de *G. chilensis* para utilizar el DIN generado por el cultivo de salmones, el pelillo en este tipo de experiencias estaría expuesta a un exceso de DIN, por lo que su respuesta de crecimiento en las cercanías de centros de cultivo de salmones podría ser modificada por otros factores ambientales o expresiones fisiológicas del alga.

Si se busca aprovechar la oportunidad de mejorar el negocio productivo cultivando pelillo en las cercanías de una fuente productora de DIN como son los cultivos de peces, estaría garantizado el éxito, sin considerar aspectos de factibilidad tecnológica o económica. Sin embargo, el objetivo principal de la Acuicultura Multi-Trófica Integrada (AMTI) es la bio-remediación y, en este caso, la extracción de Nitrógeno Inorgánico Disuelto DIN generado por el cultivo intensivo de salmones, pero se debe considerar que para que el cultivo de algas pueda realmente tener efectos positivos en términos de aprovechar los nutrientes de los demás cultivos acuícolas, se requerirá producir grandes volúmenes.

### **3.4.3- Potencial de Remoción de Nutrientes por los mitilidos**

#### **3.4.3.1.- Potencial de Producción de Mitilidos**

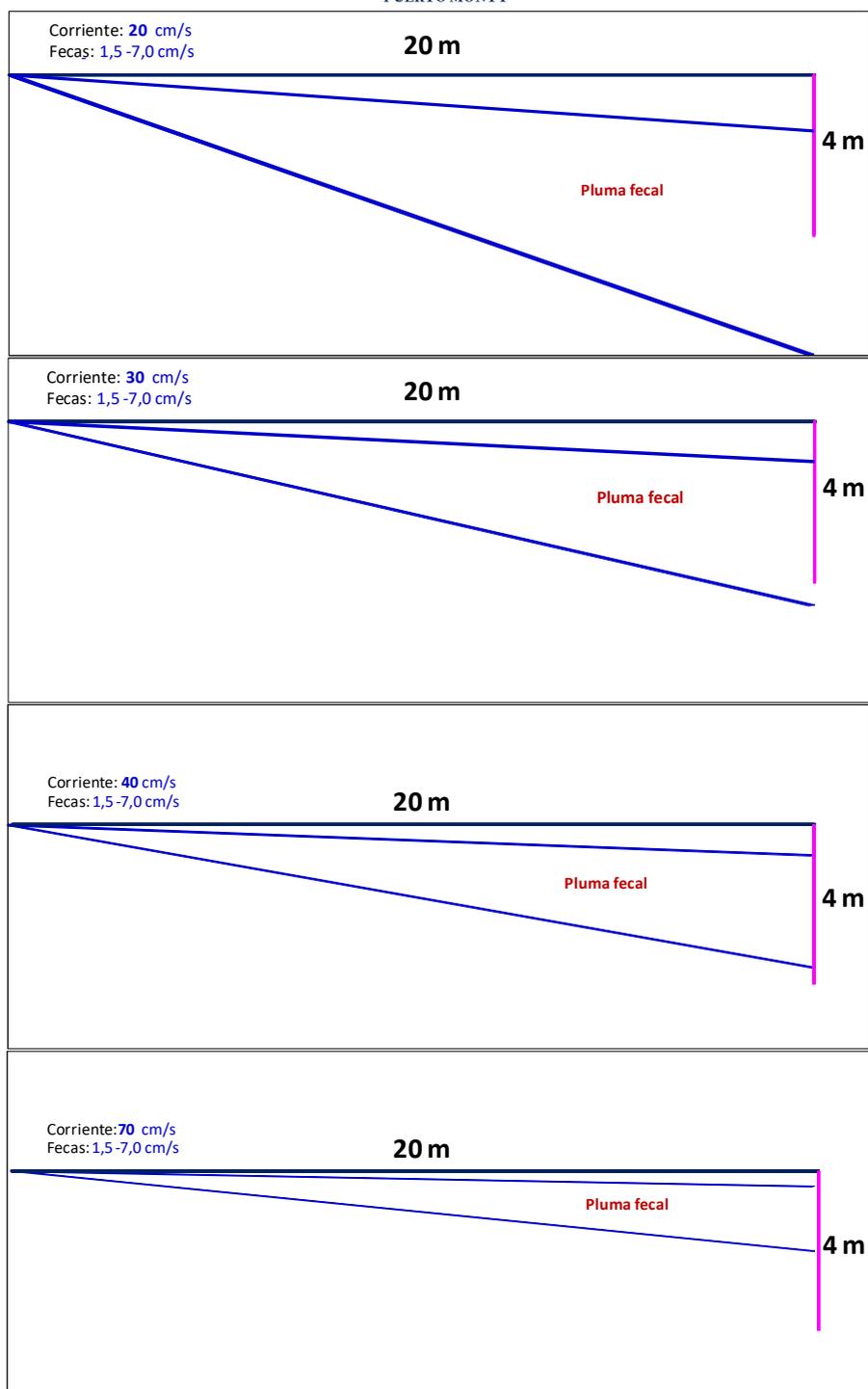
Estudios previos han mostrado que los mitilidos son capaces de consumir partículas de tamaño apropiado liberadas de cultivos de salmónidos (Stirling & Okumus, 1995; Peharda, et al., 2007; MacDonald, et al., 2011). Wong & Piedrahita (2000) mostraron que el 30% del total de residuos particulados provenientes del cultivos de truchas (20-40 cm LT) son sólidos suspendidos. Los mitilidos pueden filtrar partículas de tamaño entre 2-1000  $\mu\text{m}$  con una alta eficiencia de retención cuando se alimentan de partículas de tamaños  $\geq 4 \mu\text{m}$  (Møhlenberg & Riisgård, 1979; Reid, et al., 2009).

Para los mitilidos, se asume que sólo el 10-30% de los sólidos suspendidos (30% del total de partículas) son de tamaño apropiado para que los filtren y consuman en un sistema Multi-Trófico Integrado en mar abierto. Además, se supone que el rendimiento en crecimiento de los mejillones es de sólo 20% derivado del consumo de sólidos suspendidos (Olsen, et al., 2011).

#### **3.4.3.2.- Resultados de crecimiento de mitilidos en el presente experimento**

El crecimiento de los mitilidos en el experimento realizado en este proyecto no mostró diferencias significativas entre el cultivo asociado a las jaulas de salmones y los sitios controles. Sólo se observó una excepción: los choritos cultivados en la cabecera SW mostraron un crecimiento significativamente mayor. De acuerdo al estudio de la dinámica de las corrientes se esperaba un crecimiento mayor en la cabecera SE, pero este no mostró un crecimiento diferente al registrado en los controles. Como ocurrió con las líneas de pelillo, hubo constantes interferencias con las operaciones del centro de cultivo, que hicieron necesaria varias reparaciones de las líneas durante el experimento.

La teoría indica que las líneas de chorito deben estar lo suficientemente cerca de los módulos como para tener acceso a la materia particulada generada por salmones. El diseño de nuestros experimentos adoptaron una configuración ideal para que los choritos tuvieran acceso a este alimento (ver Figura 82)



**Figura 82.** Ubicación teórica de la pluma de material particulado proveniente de las jaulas de salmones. La distancia de las líneas de choritos fue de 20 m en posición perpendicular al límite del módulo. La altura promedio de las cuelgas fue de 4 m. De acuerdo a la literatura (Reid, et al., 2009), la velocidad de sedimentación de fecas y restos de alimento está entre 1,5 y 7,0 cm/s.

La velocidad promedio de la corriente, considerando periodos de sicigias y cuadraturas, fue de 30 cm/s, fluctuado en promedio entre 20 y 40 cm/s. Las máximas velocidades registradas fueron de aproximadamente 70 cm/s. La estimación de la posición de pluma de fecas-alimento residual considerando estas velocidades de corriente, indica que los choritos instalados en la cabecera Sur del módulo estuvieron expuestos la mayor parte del tiempo a estos residuos, por lo tanto se esperaba un crecimiento significativamente mayor. En la cabecera norte del módulo no fue posible esta exposición al material particulado, puesto que las corrientes circulaban principalmente en dirección sur y longitudinal al eje del módulo de cultivo. Por lo tanto, la única posibilidad de recuperar el material particulado en un centro de cultivo con estas características es instalar las líneas de cultivo de chorito hacia el sur. Como se puede observar en la Figura 82, sólo con corrientes por sobre los 70 cm/s la pluma se extendía más allá de los 20 m.

En consecuencia, y de acuerdo a lo analizado en la revisión bibliográfica, el potencial de los mitilidos para jugar un rol en la recaptura de nutrientes particulados en un diseño de Cultivo Multitrófico es discutible.

#### **3.4.3.3.- Otros modelos sobre la capacidad bio-remediadora de los mitilidos**

El modelo de transferencia de masa para mitilidos co-cultivados con salmones explicado en la Sección 3.3.1.6 (Reid, et al., 2013), estima la proporción de carga orgánica proveniente de un centro de cultivo de peces que debe ser consumida por los mitilidos para que se observe una reducción neta de la carga orgánica en un sistema IMTA. Se define a esto como Umbral de Proporción Dietaria (DPT). Este modelo considera la influencia del consumo de fitoplancton y la calidad de las fecas de salmones en la capacidad de remoción de materia orgánica proveniente del cultivo de salmón. Las soluciones del modelo buscan mostrar que un cultivo integrado de mitilidos con uno de salmones tiene el potencial de incrementar o reducir la carga orgánica en el sitio de cultivo. Esto se debe a que los mitilidos tienen la capacidad de consumir dietas mixtas (natural y proveniente del cultivo de salmones).

Al aplicar este modelo de transferencia de masa a los datos de Material Particulado generado entre los meses de octubre de 2015 y enero de 2016 (app. 200 ton) en nuestro cultivo comercial, se observa una respuesta similar a la esquematizada en la Figura 76: el Umbral de Proporción Dietaria (DPT) aumenta con la calidad de la materia orgánica generada por el cultivo de salmón. Si la calidad del fitoplancton es mayor que la carga orgánica fecal del seston, ocurre una reducción en la carga orgánica neta del IMTA.

Debido a la probabilidad de ocurrir un incremento neto en la carga orgánica en el IMTA dentro de este régimen de cultivo, se sugiere enfatizar en la necesidad de cultivar especies depositóricas bajo las infraestructuras de cultivo de mitilidos, como también bajo los cultivo de salmones.

Otra estrategia propuesta es un estudio realizado en Noruega (Wang, et al., 2012), que propone una alternativa para estimar el área necesaria para extraer los nutrientes particulados incorporados por el cultivo de salmones. Según el modelo propuesto por Wang et al. (2012), se asume que 0,6 a 1,8% de total del POC derivado del cultivo de salmones estaría disponible para el cultivo de mejillones.

Por lo tanto, si se aplica el modelo, se estima que con la masa de POC liberado durante nuestro experimento IMTA, se podría cultivar 2.078 ton de choritos expresados en peso seco-carne (Tabla 20).

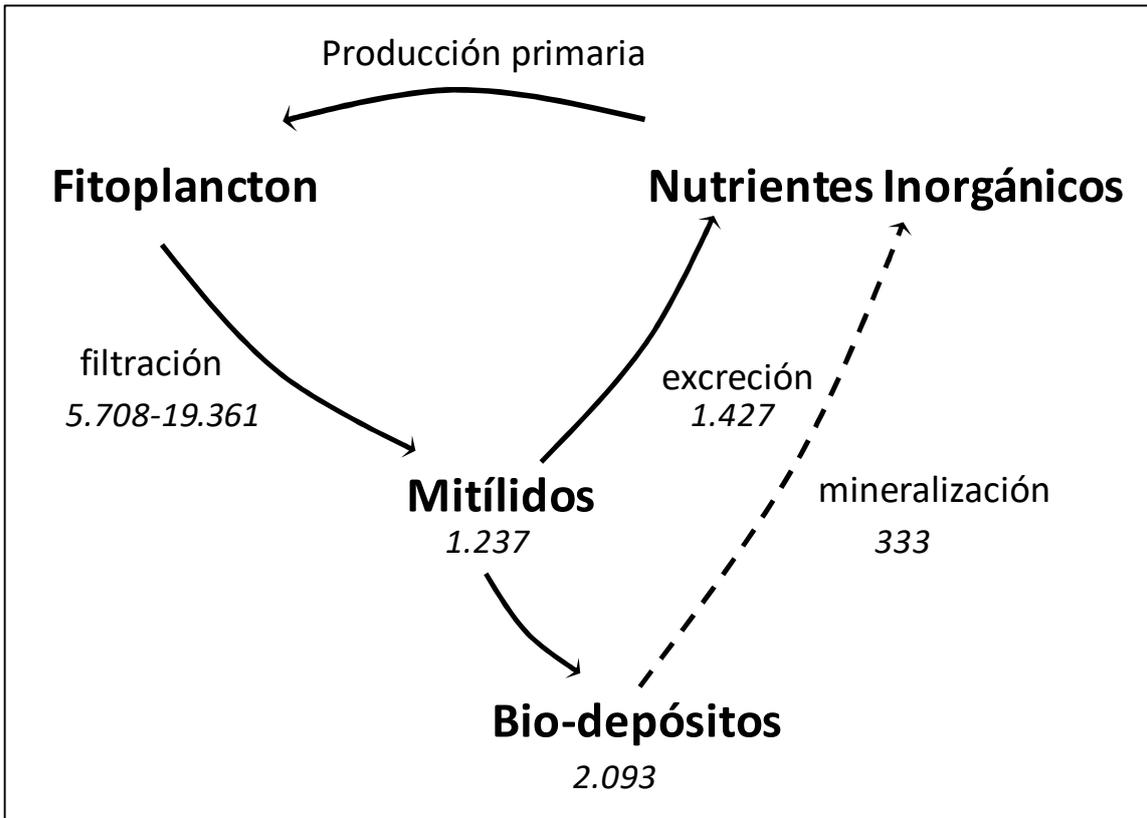
**Tabla 20.** Aporte de POC durante experimento IMTA y potencial de producción de choritos (peso seco-carne)

Mes	POC (kg)	Biomasa de choritos (ton peso seco carne)
Octubre	64.959	715
Noviembre	56.706	627
Diciembre	49.645	542
Enero	17.764	194

Finalmente, también se señala que el rendimiento potencial de choritos, basados directamente en las partículas pequeñas de alimento de pelet y fecas generadas durante

el cultivo de salmones, es relativamente bajo; e incluso seguiría siendo bajo aunque tuvieran a disposición todas las partículas. Se sugiere que los residuos particulados generados por el cultivo de salmones son menos importantes para el crecimiento de los choritos que la fuente natural de alimento (fitoplancton), aunque sean cultivados cerca de las jaulas de salmones (Figura 83).

Es ampliamente reconocido que el cultivo de moluscos tiene un impacto positivo sobre el medio ambiente, dada su producción cercana a la base de la cadena trófica y su potencial fortalecimiento tanto de la producción primaria como de la diversidad. Como una forma de evaluar este rol ambiental de los cultivos de moluscos respecto al control de emisiones de nutrientes se evaluó esta función a través de un balance de masas mediante un modelo que simuló el cultivo de ostras de fondo durante un periodo de 180 días (Ferreira, et al., 2007). La filtración y por ende la extracción por parte de los moluscos de nitrógeno orgánico particulado (PON) y otras materias orgánicas se compensa por incorporaciones resultantes de la excreción y las fecas. Estos autores no consideraron las pseudofecas debido a que son rechazadas antes de la ingestión del fitoplancton y detritus. Si bien la producción primaria del fitoplancton extrae directamente Nitrógeno Inorgánico Disuelto Disponible (DAIN) desde la columna de agua, el Nitrógeno Orgánico Particulado (PON) presente en partículas suspendidas se puede originar a partir de una variedad de fuentes: estas incluyen DAIN incorporada en el detritus de vegetales, PON proveniente de las descargas terrestres, materia fecal, carcasas, etc. En definitiva, Ferreira et al. (2007) indican que el 40% del nitrógeno ingerido por los moluscos retorna al sistema producto de la excreción y eliminación de los moluscos, lo cual es bastante consistente con valores sobre el 73% informados por otros autores (Hawkins & Bayne, 1985).



**Figura 83.** Ejemplo de modelo de balance de nitrógeno para el cultivo de mitilidos que incluye los mecanismos de retroalimentación entre los mitílicos y el fitoplancton. Las cifras se basan en el estudio de un sistema de fiordo oligotrófico (Jansen, 2012) y por lo tanto los valores probablemente variarán para las áreas marinas ricas en nutrientes y alta turbulencia. Las cifras se expresan en kg de N por año para un área mejillones de 49 hectáreas (Buck, et al., 2010).

#### **4.1.- Comentarios y Conclusiones Bibliográficas Generales**

1.- La evidencia del cultivo conjunto de varias especies marinas o dulceacuícolas diferentes en estanques (policultivo) se conoce en China desde hace más de 5 mil años (Shuanglin, et al., 2013). Durante los últimos 15 años el concepto se ha hecho popular en occidente, con el cultivo en ambientes marinos abiertos de peces, moluscos y algas, siendo evaluado principalmente en Canadá, Noruega y Chile (v.g. (Neori, 2008; Buschmann, et al., 2013; Chopin, 2013). Esta estrategia de cultivo se conoce como Acuicultura Multi-Trófica Integrada (AMTI). Dentro del sistema, las especies que ocupan el nivel trófico superior (v.g salmón), excretan residuos disueltos y particulados, y residuos particulados desde el alimento hacia el ambiente del sitio de cultivo. Los moluscos (v.g. mitilidos), filtran el flujo de residuos particulados, extrayéndolos desde el sitio y usándolos como fuente de nutrición. Finalmente, las macroalgas captan los nutrientes disueltos liberados por los peces. En este sistema, el impacto ambiental del cultivo de peces se reduce de manera significativa, y se obtienen tres cosechas o productos desde la misma área al costo de uno.

2.- Se han propuesto modelos para evaluar la eficiencia de los IMTA, como por ejemplo la modelación dinámica STELLA basada en el contenido de nitrógeno (Kambey & Chung, 2015), que busca introducir lineamientos estratégicos potenciales para la implementación de los IMTA que ayuden a mejorar el manejo y capacidades predictivas y elevar la aceptación social de dichos sistemas. Estos modelos han permitido evaluar la respuesta de la introducción de organismos detritívoros, como por ejemplo, los pepinos de mar. También existen propuestas de modelos para optimizar la productividad y eficiencia de bio-remediación de los AMTI (Lamprianidou, et al., 2015), y para evaluar el rol de los depositívoros (Cubillo, et al., 2016). Se proponen estrategias de modelación con inferencia bayesiana para reducir la variabilidad en la estimación de la bio-remediación de los cultivos AMTI (Hadley, et al., 2016). Evaluación del efecto biomitigador de la AMTI en ambientes marinos usando una estrategia de modelación numérica (Zhang & Kitazawa, 2016).

3.- La investigación y desarrollo de la Acuicultura Multi-Trófica Integrada en Chile se ha localizado principalmente en la zona sur del país y ha estado enfocada de preferencia a bio-remediar el impacto de los cultivos de salmones. Sin embargo, hay otros grupos de investigadores que han publicado trabajos sobre IMTA de *Gracilaria chilensis* y *Ulva lactuca* integrado con abalón (Macchiavello & Bulboa, 2014): eficiencia del consumo de nutrientes de dos macroalgas cultivadas en estanques asociados a aguas residuales del cultivo de abalones en estanques en tierra. También existen algunas iniciativas en la IV Región lideradas por la Universidad de Valparaíso, que buscan mejorar la eficiencia de los cultivos de ostión, erizo y macroalgas, integrándolas para el control de organismos fouling: Proyecto FIC 33-03-227

4.- Se han mantenido líneas de investigación que buscan modelar la percepción pública sobre estas estrategias de cultivo ecosistémico. Los beneficios que perciben los usuarios del borde costero de las estrategias AMTI versus monocultivos, incluyen: uso de los residuos, minimizar el impacto sobre el bentos y la filtración de larvas de caligus (Alexander, et al., 2016a; Alexander, et al., 2016b).

5.- Hay nuevas especies que se están proponiendo para integrar a los IMTA, como es el caso de anfípodos caprelidos por ser un grupo de especies principalmente detritívora (Guerra-García, et al., 2016). Esto indica la orientación actual a buscar especies que ayuden a mejorar la necesidad de extraer con mayor éxito la gran proporción de materia particulada. En China se ha estado trabajando con cultivos multitróficos que combinan los abalones, macroalgas y pepinos de mar (Jian-guang & Funderund, 2009). Los pepinos de mar son organismos detritívoros que se alimentan de materia orgánica acumulada en los sedimentos marinos. Esta característica lo hace un interesante candidato para ser usado en sistemas IMTA, donde se alimentan de la materia particulada que sedimenta. En Portugal, se está trabajando con el cultivo de abalón integrado con macroalgas en centros de cultivo comercial en ambientes marinos abiertos (Viera, et al., 2016). En Malasia existen trabajos con el cultivo integrado de langosta *Panulirus*, pepino de mar y macroalgas, pero en estanques basados en tierra (Sumbing, et al., 2016). Experiencias de co-cultivo de peces detritívoros (*Mugil cephalus*) con peces carnívoros 'seabream' (*Sparus*

*aurata*) para evaluar la potencialidad como detritívoro y candidato a ser incorporado a cultivos IMTA (Shpigel, et al., 2016) . Bioremediación usando el cultivo integrado de *Gracilaria* sp y *Sparus macrocephalus* para manejar el balance de nitrógeno y fósforo en una bahía de China (Wu, et al., 2015a).

**6.-** En la estrategia IMTA implementada en tierra, que incluye a las macroalgas como componente, se ha informado que la retención de N y P es mayor al 85%, y algunas veces alcanza el 100% (Schneider, et al., 2005). Sin embargo, este no es el caso para ambientes de mar abierto, donde los flujos de agua/nutrientes son difíciles de controlar. Especialmente en áreas de alta turbulencia, es difícil medir directamente y cuantificar la influencia sobre la dinámica de los nutrientes dentro del área más cercana de los centros de cultivo. Sin embargo, desde el punto de vista de ‘manejo ecosistémico’, la recuperación de los mismos nutrientes que son introducidos al sistema no es el principal objetivo. El propósito principal es balancear las entradas y salidas entre especies cultivadas con alimento exógeno y las especies extractivas. En un ambiente IMTA esto significa balancear la entradas de nutrientes (alimento) y las salidas (peces, moluscos y algas) (Chopin, et al., 2001; van den Burg, et al., 2013)

**7.-** En los últimos años en China se observa un gran interés por avanzar en el desarrollo de una acuicultura sustentable y la implementación de la acuicultura Multi-Trófica Integrada. Se han estado realizando estudios para caracterizar la dinámica de los nutrientes asociados a los sistemas IMTA y así mejorar las estrategias de extracción de estos (Li, et al., 2016; Fang, et al., 2016; Mahmood, et al., 2016; Ning, et al., 2016; Wu, et al., 2015b).

**8.-** Un reciente estudio de modelación numérica (Broch, et al., 2013) y otros de cultivo de salmones integrado con macroalgas (*Saccharina latissima*) a gran escala (Marinho, et al., 2015), confirman que las macroalgas asimilan el nitrógeno disuelto liberado del cultivo de salmones de forma muy ineficiente (menos del 1% de asimilación del N liberado) y que los nutrientes liberados del centro de cultivo de salmones contribuyen de manera no significativa al crecimiento de las macroalgas en sitios de cultivos bien agitados. En resumen:

a.- En Sitios de cultivo ubicados en aguas abiertas y con buena hidrodinámica (velocidad promedio de la corriente  $\geq 10$  cm/s) el  $\text{NH}_3^-$  excretado por los salmones no incrementará el nitrógeno disponible a niveles de concentración que puedan estimular de manera significativa el crecimiento de las macroalgas,

b.- En áreas de cultivo ubicadas en aguas abiertas y con buena hidrodinámica las macroalgas en cultivo no serían capaces de capturar más que pequeños porcentajes del nitrógeno disuelto desde las inmediaciones de los centros de cultivo de salmones.

**9.-** Los cultivos IMTA de aguas abiertas son perjudicados por las altas tasas de dilución de los residuos solubles generados por los peces, impidiendo a macroalgas una recuperación costo-efectiva de los nutrientes, y, además, la distribución de tamaños de los residuos particulados (alimento no consumido y fecas de peces) y las elevadas velocidades de sedimentación hace que la mayor parte de los residuos sólidos no estén disponibles para los mitilidos y ostras.

**10.-** Los organismos depositívoros tales como erizos y pepinos de mar son más efectivos en recapturar la materia orgánica que sedimenta bajo las jaulas de cultivo de peces, pero su incorporación en IMTA de aguas abiertas está en una etapa de estudio muy temprana. Bajo condiciones de laboratorio los pepinos de mar son eficientes en convertir residuos orgánicos en biomasa (MacDonald, et al., 2013), pero se requieren más estudios de terreno para evaluar su comportamiento y eficiencia bajo condiciones naturales; por ejemplo, de acuerdo a (Hamel & Mercier, 2008) la tasa de crecimiento del pepino de mar nativo del norte de Europa *Cucumaria frondosa*, es baja.

#### **4.2.- Principales conclusiones del Taller**

La experiencia de la acuicultura en China indica que los cultivos de Macroalgas ayudan en forma efectiva a la mitigación del crecimiento de microalgas: control de FAN.

Enfocar los esfuerzos sobre la mitigación de nitrógeno. El nitrógeno es el nutriente liberado en mayor proporción como resultado de las prácticas acuícolas: salmones y choritos. También existe un significativo aporte de N domiciliario y prácticas agrícolas.

Poner énfasis en el incentivo del cultivo de organismos autótrofos, que son los que consumen el nitrógeno inorgánico disuelto.

Existe menos restricción legal y operativa para el cultivo de algas. Por ende, se propone dirigir los esfuerzos hacia políticas de incentivo de cultivo de algas, incentivo al mercado de algas.

También se señala considerar iniciativas de modernización de las regulaciones ambientales relacionadas con el cultivo de macroalgas.

Incentivo a la industria de algas y del cultivo industrial de algas.

Se sugiere evaluar el financiamiento de un Centro Piloto a Escala Comercial de cultivo de macroalgas en las cercanías de un cultivo de salmones. Ya está bastante probado el servicio ambiental que representan las macroalgas en la recaptura de nitrógeno en el ambiente marino. Faltan experiencias a nivel comercial que permitan demostrar a la industria del cultivo el impacto positivo que tendrían este tipo de estrategias en su negocio y la imagen ambiental de la salmonicultura.

### 4.3.- Conclusiones

Recurso	Consumo MOP	Consumo DIN	Existe tecnología de cultivo	Recurso con valor comercial	Rentabilidad de cultivo	Significativa tasa de Incorporación de Nutrientes	Excreción de nitrógeno	Requiere Rediseño del centro de cultivo salmónes	Compatibilidad con operación de centro de salmónes	Super-vivencia	Duración del ciclo productivo	Posible hundimiento de líneas	Disponibilidad de espacio para el cultivo
Pelillo	X	✓	✓	✓	✓	✓ ✓	X	X	✓ ✓	✓	✓ 2 meses	Baja	Media
Luga Roja	X	✓	X	✓	X	X	X	X	✓ ✓	Media	✓ 4 meses	Baja	Media
Chorito	✓	fito	✓ ✓	✓	✓ ✓	✓	✓ ✓	✓	X	Media	X 12 meses	Media	X

X : No

✓ : Si

#### **4.4. Desarrollo de las conclusiones**

##### **Consume MOP**

Sólo los choritos pueden consumir una parte de la Materia Orgánica Particulada (POM) excretada por los salmones. Debido a la heterogeneidad en tamaño de las partículas, se estima que los choritos podrían consumir hasta el 10%. En el caso de la configuración usada en el experimento en el centro de salmones, este porcentaje sería menor, debido a que se instalaron las cuelgas de choritos entre 0 y 4 metros de profundidad mientras que el cultivo de salmones se distribuye entre los 0 y 20 metros de profundidad. Además, se debe considerar que las fecas y pseudo-fecas precipitan a una velocidad variable, siendo arrastrados corriente abajo, lo que provocaría que la Materia Orgánica Particulada sólo pudiera ser consumida por los choritos de la porción inferior del sistema de cultivo. A esto se suma, que los choritos podrían seleccionar el alimento, prefiriendo una dieta basada en el fitoplancton. El diseño experimental consideró la instalación de choritos a una distancia de 20 m del módulo de salmones, buscando aprovechar el POM antes de sedimentar o ser desplazada lejos del centro. Esta estrategia es difícil en la realidad por la incompatibilidad del diseño con la operación del centro salmonero

##### **Consume DIN**

Las algas consumen mayoritariamente amonio, pero también pueden absorber nitrito y nitrato lo que son reducidos a amonio en el interior de la célula. El amonio podría ser recuperado a mayores distancias de las jaulas por lo que las macroalgas pueden ser cultivadas en sectores alejados de la concesión de salmones.

##### **Existe tecnología de cultivo**

La tecnología de cultivo de mitilidos es usada extensivamente a nivel comercial en la Región de Los Lagos. Sin embargo, esta es incompatible o difícil de adaptar a las exigencias de las salmoneras.

Para el caso del pelillo se ha desarrollado una tecnología de cultivo que puede ser usada en sistemas suspendidos. Mientras que para el caso de la luga roja los cultivos, sólo se han

desarrollado a nivel experimental, no resolviendo aún la baja sobrevivencia y baja tasa de crecimiento. Se pueden instalar más alejados de los salmones no anulándose.

### **Recurso con valor comercial**

Los tres recursos co-cultivados con salmones tienen valor económico.

Precio venta alga pelillo húmedo (M\$/t)	100
Precio venta alga luga roja húmedo (M\$/t)	420
Precio venta choritos (M\$/t)	230

### **Rentabilidad del cultivo**

De los tres recursos, el chorito tiene la mayor rentabilidad, con un costo de producción de 81 \$/kg sobre un precio de venta de 230 \$/kg. En el caso del pelillo el costo de producción es alto (353 \$/kg), pero se podría realizar economía de escala lo que incrementaría la rentabilidad del negocio.

El alto costo de producir luga roja (4.007 \$/kg) incide en una falta de rentabilidad positiva al nivel de desarrollo en el cual se encuentra el cultivo de este recurso.

### **Tasa de Incorporación Nutrientes**

Tanto el pelillo como la luga roja consumen el nitrógeno inorgánico disuelto (DIN) a una tasa de incorporación que está relacionada con la tasa de crecimiento de la especie. De estas, la tasa de crecimiento del pelillo (3%) es superior a la luga roja (< 1%).

### **Excreción de nitrógeno**

La carga total de nitrógeno excretado es mayor en un sistema de co-cultivo entre salmones y mitilidos, que en el monocultivo de salmones.

En el caso de las algas, estas no excretan compuestos nitrogenados.

### **Requiere Rediseño del centro de cultivo y Compatibilidad con operación de centro de salmones**

Durante el experimento, la interacción del módulo experimental IMTA con la operación de las empresas de servicios externos, reveló que existen problemas de diseño del módulo de cultivo para co-cultivar salmones con choritos. En el caso del pelillo, los módulos pueden situarse más alejados del área de operación del centro de cultivo de salmones.

### **Sobrevivencia**

La sobrevivencia no estuvo determinada por factores ambientales, sino por sobreposición de los cultivos de mitilidos y algas con el espacio usado por el módulo de cultivo de salmones y las maniobras de operación de éste. Esto generó enredos, raleos, acorbatamiento y corte de líneas, los que incidieron en la sobrevivencia de los cultivos.

### **Duración del ciclo productivo**

Los ciclo de producción en el caso de las algas son cortos (2-4 meses), mientras que la fase de engorda de choritos tiene una duración de 18 meses.

### **Posible hundimiento de líneas**

El hundimiento de las líneas de cultivo es una posibilidad que debe ser considerada, debido a que ésta se depositaría en el fondo, bajo el centro de cultivo. De los recursos co-cultivados con salmones, sólo los choritos podrían presentar un hundimiento de la línea debido al rápido incremento en el peso y a la pérdida de flotabilidad del sistema de cultivo en condiciones de mar con oleaje que sobrepase la altura de la boya (ej. temporales).

### **Disponibilidad de espacio para el cultivo**

La normativa establece que la distancia entre centros de cultivo intensivo debe ser de 1,5 millas, 400 metros entre los centros de cultivo intensivo y extensivo, 200 metros entre centros de cultivo extensivos y 50 metros entre sistemas de cultivos suspendidos de macroalgas y respecto de otros centros de cultivo. Esto impide la implementación de un sistema de cultivo de chorito para el consumo del MOP. Pero sí permite implementar cultivos de algas en la cercanía de un centro de cultivo de salmones que consuman el DIN.

## **5.- Citas Bibliográficas**

- Abreu, M. H. y otros, 2011. IMTA with *Gracilaria vermiculophylla*: productivity and nutrient removal performance of the seaweed in a land-based pilot scale system.. *Aquaculture*, Volumen 312, p. 77-87.
- Abreu, M. L. et al., 2009. Traditional vs. integrated multi-trophic aquaculture of *Gracilaria chilensis* C. J. Bird, J. McLachlan & E. C. Oliveira: Productivity and physiological performance. *Aquaculture*, Volume 293, pp. 211-220.
- Ackefors, H., 2000. Review of Swedish regulation and monitoring of aquaculture. *Journal of Applied Ichthyology*, Volume 16, pp. 214-223.
- Ackefors, H. & Enell, M., 1990. Discharge of nutrients from Swedish fish farming to adjacent sea areas. *Ambio*, Volume 19, pp. 28-35.
- Ahmed, N. & Glaser, M., 2016. Can “Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA)” adapt to climate change in coastal Bangladesh?. *Ocean & Coastal Management*, Volumen 132, pp. 120-131.
- Aiken, C. M. et al., 2011. Ship-of-opportunity monitoring of the Chilean fjords using the pocket FerryBox. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Volume 28, pp. 1338-1350.
- Alexander, K. A. y otros, 2016a. Improving sustainability of aquaculture in Europe: Stakeholder dialogues on Integrated Multi-trophic Aquaculture (IMTA). *Environmental Science & Policy*, Volumen 55, pp. 96-106.
- Alexander, K. A., Freeman, S. & Potts, T., 2016b. Navigating uncertain waters: European public perceptions of integrated multi trophic aquaculture (IMTA). *Environmental Science & Policy*, Volumen 61, pp. 230-237.
- Ang, K. P. & Petrell, R. J., 1997. Control of feed dispensation in seacages using underwater video monitoring: effects on growth and food conversion. *Aquacultural Engineering*, Volumen 16, pp. 44-62.
- Arifin, Z. & Bendell-Young, L. I., 1997. Feeding response and carbon assimilation by the blue mussel *Mytilus trossulus* exposed to environmentally relevant seston matrices. *Marine Ecology Progress Series*, Volume 160, pp. 241-253.
- Atkinson, M. J. & Smith, S. V., 1983. C:N:P ratios of benthic marine seaweeds. *Limnology and Oceanography*, Volume 28, pp. 568-574.
- Aure, J., Strand, Ø., Erga, S. R. & Strohmeier, T., 2007. Primary production enhancement by artificial upwelling in a western Norwegian fjord. *Marine Ecology Progress Series*, Volumen 352, pp. 39-52.
- Avila, M. P. et al., 2015. Las algas del sur. *J of Phycology*, pp. 215-217.

- Barrington, K., Chopin, T. & Robinson, S., 2009. Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine temperate waters. In: D. Soto, ed. *Integrated mariculture: a global review*. Roma: FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 529, FAO, pp. 7-46.
- Bayne, B. L., Hawkins, A. J. & Navarro, E., 1987. Feeding and digestion by the mussel *Mytilus edulis* L. (Bivalvia:Mollusca) in mixtures of silt and algal cells at low concentrations. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Volume 111, pp. 1-22.
- Bayne, B. L., Hawkins, A., Navarro, E. & Iglesias, I. P., 1989. Effects of seston concentration on feeding, digestion and growth in the mussel *Mytilus edulis*. *Marine Ecology Progress Series*, Volume 55, pp. 47-54.
- Bayne, B. L. et al., 1993. Feeding-behavior of the mussel, *Mytilus edulis* - responses to variations in quantity and organic content of the seston. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, Volume 73, pp. 813-829.
- Bayne, B. L. & Worrall, C. M., 1980. Growth and production of mussels *Mytilus edulis* from two populations. *Marine Ecology Progress Series*, Volume 3, pp. 317-328.
- Beveridge, M., 1996. *Cage aquaculture*. Oxford: Fishing News Books Ltd, 352 pp.
- Beveridge, M. C., 1987. *Cage Aquaculture*. Surrey, U.K: Fishing News Books.
- Bischoff-Bäsmann, B. & Wiencke, C., 1996. Temperature requirements for growth and survival of Antarctic Rhodophyta. *J. Phycol.*, Volume 32, p. 525-535.
- Black, K. D., 2001. *Environmental impacts of aquaculture*. Sheffield: Sheffield Academic Press and CRC Press.
- Bolton, J. J., Robertson-Andersson, D. M., Troell, M. & Halling, C., 2006. Integrated systems incorporate seaweeds in South African abalone culture. *Global Aquaculture Advocate*, Volume 9, pp. 54-55.
- Bougrier, S., Hawkins, A. J. & Heral, M., 1997. Preingestive selection of different microalgal mixtures in *Crassostrea gigas* and *Mytilus edulis*, analysed by flow cytometry. *Aquaculture*, Volumen 150, pp. 123-134.
- Broch, O. J. y otros, 2013. Modelling the cultivation and bioremediation potential of the kelp *Saccharina latissima* in close proximity to an exposed salmon farm in Norway. *AQUACULTURE ENVIRONMENT INTERACTIONS*, Volumen 4, pp. 187-206.
- Buck, B. & Buchholz, C., 2005. Response of offshore cultivated *Laminaria saccharina* to hydrodynamic forcing in the North Sea. *Aquaculture*, Volume 650, p. 674-691.
- Buck, B. H. & Buchholz, C. M., 2004. The offshore-ring: a new system design for the open ocean aquaculture of macroalgae. *Journal of Applied Phycology*, Volume 16, p. 355-368.

- Buck, B. H., Ebeling, M. W. & Michler-Cieluch, T., 2010. Mussel cultivation as a co-use in offshore wind farm: potential and economic feasibility. *Aquaculture Economics and Management*, 14(4), pp. 1365-7305.
- Bureau, D. P., Gunther, S. & Cho, C. Y., 2003. Chemical composition and preliminary theoretical estimates of waste outputs of rainbow trout reared in commercial cage culture operations in Ontario. *North American Journal of Aquaculture*, Volumen 65, pp. 33-38.
- Buschmann, A. H. y otros, 2009. Salmon aquaculture and coastal ecosystem health in Chile: Analysis of regulations, environmental impacts and bioremediation systems. *Ocean Coast Manag*, Volumen 52, pp. 243-249.
- Buschmann, A. H. y otros, 2008a. Mariculture waste management. En: S. E. Jorgensen & B. D. Fath, edits. *Ecological Engineering (Vol. 3) of Encyclopedia of Ecology*. Oxford: Elsevier Press, 5 vols, pp. 2211-2217.
- Buschmann, A. H. & Fortt, A., 2005. Efectos ambientales de la acuicultura intensiva y alternativas para un desarrollo sustentable. *Ambiente y Desarrollo (Chile)*, Volumen 21, pp. 58-64.
- Buschmann, A. H., Hernández-González, M. C. & Varela, D. A., 2008c. Seaweed future cultivation in Chile: perspectives and challenges. *Int J Env Poll*, Volumen 33, pp. 432-456.
- Buschmann, A. H., López, D. A. & Medina, A., 1996a. A review of the environmental effects and alternative production strategies of marine aquaculture in Chile. *Aquacultural Engineering*, Volume 15, pp. 397-421.
- Buschmann, A. H. et al., 1994. Gracilaria chilensis outdoor tank cultivation in Chile: use of land-based salmon culture effluents.. *Aquacultural Engineering*, Volume 13, pp. 283-300.
- Buschmann, A. H., Retamales, C. & Figueroa, C., 1997. Ceramialean epiphytism in an intertidal Gracilaria chilensis (Rhodophyta) bed in southern Chile. *Journal of Applied Phycology*, Volume 9, p. 129-135.
- Buschmann, A. H. et al., 2013. Un análisis crítico sobre el uso de macroalgas como base para una acuicultura sustentable. *Revista Chilena de Historia Natural*, Volume 86, pp. 251-264.
- Buschmann, A. H., Troell, M. & Kautsky, N., 2001b. Integrated algal farming: a review. *Cahiers de Biologie Marine*, Volume 42, p. 83-90.
- Buschmann, A. H., Troell, M., Kautsky, N. & Kautsky, L., 1996b. Integrated tank cultivation of salmonids and Gracilaria chilensis (Rhodophyta). *Hydrobiologia*, Volumen 326/327, pp. 75-82.
- Buschmann, A. H., Varela, D. A., Hernández-González, M. C. & Huovinen, P., 2008b. Opportunities and challenges for the development of an integrated seaweed-based aquaculture activity in Chile: determining the physiological capabilities of Macrocystis and Gracilaria as biofilters. *Journal of Applied Phycology*, Volume 20, pp. 571-577.

- Carr, G. M., Duthie, H. C. & Taylor, W. D., 1997. Models of aquatic plant productivity: A review of the factors that influence growth. *Aquatic Botany*, 59(3-4), pp. 195-215.
- Carrington, E., Grace, S. P. & Chopin, T., 2001. Life history phases and the biomechanical properties of the red alga *Chondrus crispus* (Rhodophyta). *Journal of Phycology*, Volume 37, p. 699–704.
- Cohen, I. & Neori, A., 1991. *Ulva lactuca* biofilters for marine fishpond effluents: I. ammonia uptake kinetics and nitrogen content. *Botanica Marina*, Volumen 34, pp. 475-482.
- Corner, R., Brooker, A., Telfer, T. & Ross, L., 2006. A fully integrated GIS-based model of particulate waste distribution from marine fish-cage sites. *Aquaculture*, Volumen 258, p. 299–311.
- Cosby, B. J., Hornberger, G. M. & Kelly, M. G., 1984. Identification of photosynthesis-light models for aquatic systems: II. Application to a macrophyte dominated stream. *Ecol. Model*, Volumen 23, pp. 25-51.
- Costa-Pierce, B. A., 2010. Sustainable ecological aquaculture systems: the need for a new social contract for aquaculture development. *Mar Techn Soc J*, Volumen 44, pp. 88-112 .
- Cranford, P. J., Reid, G. K. & Robinson, S. M., 2013. Open water integrated multi-trophic aquaculture: constraints on the effectiveness of mussels as an organic extractive component. *Aquacult Environ Interact*, Volumen 4, p. 163–173.
- Cromey, C. J., Nickell, T. D. & Black, K. D., 2002. DEPOMOD-modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms. *Aquaculture*, Volumen 214, pp. 211-239.
- Cubillo, A. M. y otros, 2016. Role of deposit feeders in integrated multi-trophic aquaculture — A model analysis. *Aquaculture*, Volumen 453, pp. 54-66.
- Chen, Y. S., Beveridge, M. C., Telfer, T. C. & Roy, W. J., 2003. Nutrient leaching and settling rate characteristics of the faeces of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and the implications for modelling of solid waste dispersion. *J Appl Ichthyol*, Volumen 19, p. 114–117.
- Cheshuk, B. W., Purser, G. J. & Quintana, R., 2003. Integrated open-water mussel (*Mytilus planulatus*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) culture in Tasmania, Australia. *Aquaculture*, Volume 218, pp. 357-378.
- Chopin, T., 2013. Integrated Multi-Trophic Aquaculture – Ancient, adaptable concept focuses on ecological integration. *Global Aquaculture Advocate*, 16(2), pp. 16-19.
- Chopin, T. et al., 2001. Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: a key towards sustainability. *Journal of Phycology*, Volume 37, pp. 975-986.

- Chopin, T. y otros, 2004. The AquaNet integrated multi-trophic aquaculture project: rationale of the project and development of kelp cultivation as the inorganic extractive component of the system. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada*, Volumen 104, pp. 11-18.
- Chopin, T. y otros, 2010. Integrated multi-trophic aquaculture. Part II. Increasing IMTA adoption. *GAA*, Volumen November/December, pp. 17-20.
- Chopin, T. & Wagey, B. T., 1999. Factorial study of the effects of phosphorus and nitrogen enrichments on nutrient and carrageenan content in *Chondrus crispus* (Rhodophyceae) and on residual nutrient concentration in seawater. *Botanica Marina*, Volume 42, pp. 23-31.
- Chow, F. y otros, 2001. Utilization of *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta: Gracilariaceae) as biofilter in the depuration of effluents from tank cultures of fish, oysters, and sea urchins. *J World Aquacul Soc*, Volumen 32, pp. 215-220 .
- Dalsgaard, J. & Pedersen, P. B., 2011. Solid and suspended/dissolved waste (N, P, O) from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, Volumen 313, pp. 92-99.
- Dalsgaard, T. & Krause-Jensen, D., 2006. Monitoring nutrient release from fish farms with macroalgal and phytoplankton bioassays. *Aquaculture*, Volumen 256, p. 302–310.
- Davies, I. A. & Slaski, R. J., 2003. Waste production by farmed Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Aquaculture*, Volumen 219.
- Davies, I. M., 2003. Waste production by farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Scotland. *ICES CM*, Volume 2000, p. 0:01.
- De Nys, R., 2016. The integrated culture of seaweeds in waste waters - environmental drivers and product options. En: *22nd International Seaweed Symposium*. Denmark: Academia Meets Industry. p 46., p. 46.
- DeBoer, J. A. & Whoriskey, F. G., 1983. Production and role of hyaline hairs of *Ceramium rubrum*. *Marine Biology*, Volume 77, pp. 229-234.
- De-Boer, J. & Ryther, J., 1977. Potential yields from a waste recycling algal mariculture system. In: R. W. Krauss, ed. *The Marine Plant Biomass of the Pacific Northwest Coast*. Oregon: Oregon State University Press, pp. 231-248.
- Defossez, J. M. & Hawkins, A. J., 1997. Selective feeding in shellfish: size-dependent rejection of large particles within pseudofaeces from *Mytilus edulis*, *Ruditapes philippinarum* and *Tapes decussatus*. *Marine Biology*, Volume 129, pp. 139-147.
- DFO, 2013. Review of the Organic Extractive Component of Integrated Multi-trophic Aquaculture (IMTA) in Southwest New Brunswick with Emphasis on the Blue Mussel. *Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2013/056.*

- Droop, M. R., 1968. Vitamin B12 and marine ecology, IV: the kinetics of uptake, growth and inhibition in *Monochrysis lutheri*. *Journal of Marine Biological Association UK*, Volumen 48, pp. 689-733.
- Duarte, C. M., Marbá, N. & Holmer, M., 2007. Rapid domestication of marine species. *Science*, Volume 316, pp. 382-383.
- Fan, C. L., Glibert, P. M. & Burkholder, J. M., 2003. Characterization of the affinity for nitrogen, uptake kinetics, and environmental relationships for *Prorocentrum minimum* in natural blooms and laboratory cultures.. *Harmful Algae*, Volumen 2, p. 283-299.
- Fang, J. y otros, 2016. Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in Sanggou Bay, China. *AQUACULTURE ENVIRONMENT INTERACTIONS*, Volumen 8, pp. 201-205.
- FAO, 2006. State of World Aquaculture. *FAO Fish Tech. Pap. 500*, p. 134.
- FAO, 2009. The State of World Fisheries and Aquaculture - 2008 (SOFIA).. *FAO Fisheries and Aquaculture Department.*, p. 176 pp.
- FAO, 2010. World review of fisheries and aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Department, Food and Aquaculture Organization of the United Nations*, p. 89.
- FAO, 2013. FishStatJ FAO capture and aquaculture databases. Software for fishery statistical time series. *Food and Agriculture Organization of the United Nations; Fisheries and Aquaculture Department.*
- FAO, 2015. FishStatJ FAO capture and aquaculture databases. Software for fishery statistical time series. *Food and Agriculture Organization of the United Nations; Fisheries and Aquaculture Department.*
- Ferreira, J. G., Hawkins, A. J. & Bricker, S. B., 2007. Management of productivity, environmental effects and profitability of shellfish aquaculture — the Farm Aquaculture Resource Management (FARM) model. *Aquaculture*, Volumen 264, pp. 160-174.
- Fletcher, L. R., 1995. Epiphytism and fouling in *Gracilaria* cultivation: an overview.. *Journal of Applied Phycology*, Volume 7, p. 325-333.
- Folke, C. & Kautsky, N., 1989. The role of ecosystems for a sustainable development of aquaculture. *Ambio*, Volume 18, pp. 234-243.
- Folke, C., Kautsky, N. & Troell, M., 1994. The Costs of Eutrophication from Salmon Farming- Implications for Policy. *Journal of Environmental Management*, Volume 40, pp. 173-182.
- Frette, O. y otros, 2004. Seasonal variability in inherent optical properties in a western Norwegian fjord. *Sarsia*, Volumen 89, pp. 276-291.

- Frette, O. y otros, 2004. Seasonal variability in inherent optical properties in a western Norwegian fjord. *Sarsia*, Volumen 89, pp. 276-291.
- Friedlander, M., Krom, M. D. & Ben-Amotz, A., 1991. The effect of light and ammonium on growth, epiphytes and chemical constituents of *Gracilaria conferta* in outdoor cultures. *Botanica Marina*, Volume 34, p. 161–166.
- Gao, Q. F. y otros, 2006. Stable isotope and fatty acid evidence for uptake of organic waste by green-lipped mussels *Perna viridis* in a polyculture fish farm system. *Marine Ecology Progress Series*, Volumen 317, p. 273–283.
- Gao, Q. F. et al., 2008. Seasonal changes in C, N and P budgets of green-lipped mussels *Perna viridis* and removal of nutrients from fish farming in Hong Kong. *Marine Ecology Progress Series*, Volume 353, pp. 137-146.
- Garen, P., Robert, S. & Bougrier, S., 2004. Comparison of growth of mussel, *Mytilus edulis*, on longline, pole and bottom culture sites in the Pertuis Breton, France. *Aquaculture*, Volume 232, pp. 511-524.
- Gaylord, B., Denny, M. W. & Koehl, M. A. R., 2008. Flow forces on seaweeds: field evidence for roles of wave impingement and organism inertia. *Biological Bulletin*, Volume 215, p. 295–308.
- Gonen, Y., Kimmel, E. & Friedlander, M., 1993. Effect of relative water motion on photosynthetic rate of red alga *Gracilaria conferta*. *Hydrobiologia*, Volumen 260 (261), p. 493–498.
- Gowen, R. J., Bradburn, N. B. & Brown, J. R., 1985. The ecological impact of salmon farming in Scottish coastal waters: a preliminary appraisal. *ICES CM F*, Volumen 35.
- Gowen, R. J. & Bradbury, N. B., 1987. The ecological impact of salmonid farming in coastal waters: a review. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev*, Volume 25, p. 563–575.
- Gray, A. P., Seed, R. & Richardson, C. A., 1997. Reproduction and growth of *Mytilus edulis chilensis* from the Falkland Islands. *Scientia Marina*, 61(Suppl.2), pp. 39-48.
- Gryska, A. y otros, 1996. Polyculture of sea scallops suspended from salmon cages. *Journal of Shellfish Research*, p. 481.
- Guerra-García, J. M. y otros, 2016. Towards Integrated Multi-Trophic Aquaculture: Lessons from Caprellids (Crustacea: Amphipoda). *PLoS ONE*, 11(4), p. e0154776.
- Guerrero, S. & Cremades, J., 2012. Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA): a sustainable, pioneering alternative for marine cultures in Galicia. *Regional Government of Galicia (Spain)*, p. 111.
- Gutiérrez, A. y otros, 2006. Farming of the giant kelp *Macrocystis pyrifera* in southern Chile for development of novel food products. *J Appl Phycol*, Volumen 18, pp. 259-267.

- Hadley, S. y otros, 2016. A Bayesian inference approach to account for multiple sources of uncertainty in a macroalgae based integrated multi-trophic aquaculture model. *Environmental Modelling & Software*, Volumen 78, pp. 120-133.
- Halling, C. et al., 2005. Comparison of suspended cultivation methods of *Gracilaria chilensis* in an integrated seaweed and fish cage culture.. *Aquaculture International*, Volume 13, p. 409–422.
- Hall, P., Holby, O., Kollberg, S. & Samuelsson, M. O., 1992. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. IV. Nitrogen. *Mar Ecol Prog Ser*, Volume 89, pp. 81-91.
- Hall, P. O. J. et al., 1990. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. I. Carbon. *Mar Ecol Prog Ser*, Volume 61, p. 61–73.
- Hamel, J.-F. & Mercier, A., 2008. Population status, fisheries and trade of sea cucumbers in temperate areas of the Northern Hemisphere. En: V. Toral-Granda, A. Lovatelli & M. Vasconcellos, edits. *Sea cucumbers. A global review of fisheries and trade*. Rome, FAO: FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 516, pp. 257-291.
- Handå, A. y otros, 2012. Incorporation of salmon fish feed and feces components in mussels (*Mytilus edulis*): Implications for integrated multi-trophic aquaculture in cool-temperate North Atlantic waters. *Aquaculture*, Volumen 370, pp. 371: 40-53.
- Hanelt, D., 1996. Photoinhibition of photosynthesis in marine macroalgae. *Sci. Mar.*, 60(Supp 1), pp. 243-248.
- Hargrave, B. T., Duplisea, D. E., Pdeiffer, E. & Wildish, D. J., 1993. Seasonal changes in benthic fluxes of dissolved oxygen and ammonium associated with marine cultured Atlantic salmon. *Mar Ecol Prog Ser*, Volume 96, pp. 249-157.
- Harrison, P. J., Druehl, L. D., Lloyd, K. F. & Thompson, P. A., 1986. Nitrogen uptake kinetics in three year-classes of *Laminaria groenlandica* (Laminariales:Pheophyta). *Marine Biology*, Volume 93, pp. 29-35.
- Harrison, P. J. & Hurd, C., 2001. Nutrient physiology of seaweeds: application of concepts to aquaculture. *Cahiers de Biologie Marine*, Volumen 42, pp. 71-82.
- Hawkins, A. J. & Bayne, B. L., 1985. Seasonal variation in the relative utilization of carbon and nitrogen by the mussel *Mytilus edulis*: budgets, conversion efficiencies and maintenance requirements. *Marine Ecology. Progress Series*, Volumen 25, p. 181–188.
- Hawkins, A. J. et al., 1997. Manipulation of dietary conditions for maximal growth in mussels, *Mytilus edulis*, from the Marennes-Oléron Bay, France. *Aquatic Living Resources*, Volume 10, pp. 13-22.

- Haya, K., Sephton, D. H., Martin, J. L. & Chopin, T., 2004. Monitoring of therapeutants and phycotoxins in kelps and mussels co-cultured with Atlantic salmon in an integrated multi-trophic aquaculture system. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada*, Volumen 104, pp. 29-34.
- Hernández, I. et al., 2002. Biofiltering efficiency in removal of dissolved nutrients by three species of estuarine macroalgae cultivated with sea bass (*Dicentrarchus labrax*) waste waters 2. Ammonium. *Journal of Applied Phycology*, Volume 14, pp. 375-384.
- Hilbish, T. J., 1986. Growth trajectories of shell and soft-tissue in bivalves - seasonal - variation in *Mytilus-edulis*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 96, , Volume 96, pp. 103-113.
- Holby, O. & Hall, P., 1991. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. II. Phosphorus. *Mar Ecol Prog Ser*, Volume 70, p. 263–272.
- Holmer, M., 1992. Impacts of aquaculture on surrounding sediments: generation of organic-rich sediments. In: N. De Pauw & J. Joyce, eds. *Aquaculture and the environment*. Belgium: European Aquaculture Society, Special Publication, nr. 16, pp. 155-175.
- Iglesias, J. I. P. et al., 1996. Variability of feeding processes in the cockle *Cerastoderma edule* (L.) in response to changes in seston concentration and composition. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Volume 197, pp. 121-143.
- Iriarte, J. L. et al., 2007. Spatial and temporal variability of chlorophyll and primary productivity in surface waters of southern Chile (41,5-43°S). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volume 74, pp. 471-480.
- Islam, M. S., 2005. Islam Nitrogen and phosphorus budget in coastal and marine cage aquaculture and impacts of effluent loading on ecosystem: review and analysis towards model development. *Mar Pollut Bull*, Volumen 50, p. 48–61.
- Jackson, J. B. y otros, 2001. Historical overfishing and recent collapse of coastal ecosystems. *Science*, Volumen 293, pp. 629-638.
- Jansen, H. M., 2012. *Bivalve Nutrient Cycling - Nutrient turnover by suspended mussel communities in oligotrophic fjords*. s.l.:PhD thesis Wageningen University.
- Jian-guang, F. & Funderund, J., 2009. Sea Cucumbers Enhance IMTA System With Abalone, Kelp In China. *Global Aquaculture Alliance*, 49-51 July/August.
- Jiménez del Río, M., Ramazanov, Z. & García-Reina, G., 1994. Optimization of yield and biofiltering efficiencies of *Ulva rigida* C. Ag. cultivated with *Sparus aurata* L. waste waters. *Scientia Marina*, Volumen 58, pp. 329-335.
- Jones, T. O. & Iwama, G. K., 1991. Polyculture of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thurnberg) with chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*. *Aquaculture*, Volumen 92, pp. 313-322.

- Kambey, C. & Chung, I. K., 2015. A STELLA Model for Evaluating the Efficiency of an Integrated Multi-Trophic Aquaculture System (IMTA). *Aquacultura Indonesiana*, 16(2), pp. 38-49.
- Karakassis, I., Tsapakis, M. & Hatziyanni, E., 1998. Seasonal variability in sediment profiles beneath fish farm cages in the Mediterranean. *Mar Ecol Prog Ser*, Volume 162, p. 243–252.
- Kautsky, N., 1982. Growth and size structure in a Baltic *Mytilus-edulis* population. *Marine Biology*, Volume 68, pp. 117-133.
- Kiorboe, T. & Mohlenberg, F., 1981. Particle selection in suspension-feeding bivalves. *Marine Ecology Progress Series*, Volume 5, pp. 291-296.
- Kirby-Smith, M. W. & Barber, R. T., 1974. Suspension-feeding aquaculture systems: effects of phytoplankton concentration and temperature on growth of the bay scallop. *Aquaculture*, Volume 3, p. 135–145.
- Kirk, J., 2011. *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kraemer, G. P. y otros, 2004. Evaluation of the bioremediatory potential of several species of the red alga *Porphyra* using short-term measurements of nitrogen uptake as a rapid bioassay. *J Appl Phycol*, Volumen 16, p. 489–497.
- Lamprianidou, F., Telfer, T. & Ross, L. G., 2015. A model for optimization of the productivity and bioremediation efficiency of marine integrated multitrophic aquaculture. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volumen 164, pp. 253-264.
- Lander, T. y otros, 2004. Dynamics of the blue mussel as an extractive organism in an integrated multi-trophic aquaculture system. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada*, Volumen 104, pp. 19-28.
- Lapointe, B. E., 1986. Phosphorus-limited photosynthesis and growth of *Sargassum natans* and *Sargassum fluitans* (Phaeophyceae) in the western North Atlantic. *Deep-Sea Research*, Volume 33, pp. 391-399.
- Lapointe, B. E., 1987. Phosphorus- and nitrogen-limited photosynthesis and growth of *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyceae) in the Florida Keys: an experimental field study. *Marine Biology*, Volume 93, pp. 561-568.
- Lapointe, B. E., Littler, M. M. & Littler, D. S., 1992. Nutrient availability to marine macroalgae in siliciclastic versus carbonate-rich coastal waters. *Estuaries*, Volumen 15(1), pp. 76-83.
- Largo, D. B., Diola, A. G. & Marababol, M. S., 2016. Development of an integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) system for tropical marine species in southern cebu, Central Philippines. *Aquaculture Reports*, Volumen 3, pp. 67-76.

- Lawton, R. J., Mata, L., de Nys, R. & Paul, N. A., 2013. Algal Bioremediation of Waste Waters from Land-Based Aquaculture Using Ulva: Selecting Target Species and Strains. *PLoS ONE* 8(10): e77344. doi:10.1371/journal.pone.0077344.
- Lefebvre, S., Barille, L. & Clerc, M., 2000. Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) feeding responses to a fish-farm effluent. *Aquaculture*, Volumen 187, pp. 185-198.
- Lin, D. T. & Bailey-Brock, J. H., 2008. Partial recovery of infaunal communities during a fallow period at an open-ocean aquaculture operation. *Marine Ecology Progress Series*, Volume 371, pp. 65-72.
- Li, R. y otros, 2016. Sources and export of nutrients associated with integrated multi-trophic aquaculture in Sanggou Bay, China. *AQUACULTURE ENVIRONMENT INTERACTIONS*, Volumen 8, pp. 285-309.
- Li, R. y otros, 2016. Sources and export of nutrients associated with integrated multi-trophic aquaculture in Sanggou Bay, China. *Aquaculture Environment Interactions*, Volumen 8, pp. 207-219.
- Liu, H. & Su, J., 2015. Vulnerability of China's nearshore ecosystems under intensive mariculture development. *J. Environ Sci. Pollut. Res.*, pp. 1-10.
- Lobban, C. S. & Harrison, P. J., 1994. Uptake, assimilation, and metabolic roles of essential nutrients. In: *Seaweed Ecology and Physiology*. New York: Cambridge University Press, pp. 178-184.
- Lowe, D. M., Moore, M. N. & Bayne, B. L., 1982. Aspects of gametogenesis in the marine mussel *Mytilus-edulis* L. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, Volume 62, pp. 133-145.
- Lucas, M. I. et al., 1987. Particle clearance and yield in relation to bacterioplankton and suspended particulate availability in estuarine and open coast populations of the mussel *Mytilus edulis*. *Marine Ecology Progress Series*, Volume 36, pp. 215-224.
- Macchiavello, J. & Bulboa, C., 2014. Nutrient uptake efficiency of *Gracilaria chilensis* and *Ulva lactuca* in an IMTA system with red abalone *Haliostis rufescens*. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 42(3), pp. 523-533.
- Macchiavello, J. & Bulboa, C., 2014. Nutrient uptake efficiency of *Gracilaria chilensis* and *Ulva lactuca* in an IMTA system with the red abalone *Haliotis rufescens*. *Latin American Journal of Aquatic Research*, Volume 42, pp. 523-533.
- MacDonald, B. A., Robinson, S. M. & Barrington, K. A., 2011. Feeding activity of mussels (*Mytilus edulis*) held in the field at an integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) site (*Salmo salar*) and exposed to fish food in the laboratory. *Aquaculture*, Volumen 314, pp. 244-251.

- MacDonald, C. L., Stead, S. M. & Slater, M. J., 2013. Consumption and remediation of European Seabass (*Dicentrarchus labrax*) waste by the sea cucumber *Holothuria forskali*. *Aquacult Int*, Volumen 21, pp. 1279-1290.
- Mahmood, T., Fang, J., Jiang, Z. & Zhang, J., 2016. Carbon and nitrogen flow, and trophic relationships, among the cultured species in an integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) bay. *AQUACULTURE ENVIRONMENT INTERACTIONS*, Volumen 8, pp. 207-219.
- Malet, N. et al., 2007. Effect of seasonal variation in trophic conditions and the gametogenic cycle on delta C-13 and delta N-15 levels of diploid and triploid Pacific oysters *Crassostrea gigas*. *Marine Ecology Progress Series*, Volume 346, pp. 203-217.
- Manley, S. L. & North, W. J., 1984. Phosphorus and the growth of juvenile *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyta) sporophytes. *Journal of Phycology*, Volume 20, pp. 389-393.
- Mann, K. H., 1972. Ecological energetics of the seaweed zone in a marine bay on the Atlantic coast of Canada: productivity of the seaweeds. *Marine Biology*, Volume 14, p. 199-209.
- Marihno, G. S., Holdt, S. L., Birkeland, M. J. & Angelidaki, I., 2015. Commercial cultivation and bioremediation potential of sugar kelp, *Saccharina latissima*, in Danish waters. *J Appl Phycol*, Volumen 27, pp. 1963-1973.
- Maroni, K., 2000. Monitoring and regulation of marine aquaculture in Norway. *Journal of Applied Ichthyology*, Volume 16, pp. 192-195.
- Martínez, A. & Buschmann, A. H., 1996. Agar yield and quality of (Gigartinales, Rhodophyta) in tank culture using fish effluents. *Hydrobiologia*, 326(327), p. 341-345.
- Martínez-Aragon, J. F. et al., 2002. Biofiltering efficiency in removal of dissolved nutrients by three species of estuarine macroalgae cultivated with sea bass (*Dicentrarchus labrax*) waste waters. 1. Phosphate. *Journal of Applied Phycology*, Volume 14, pp. 365-374.
- Matos, J. et al., 2006. Experimental integrated aquaculture of fish and red seaweeds in Northern Portugal. *Aquaculture*, Volume 252, pp. 31-42.
- Mazzola, A. & Sara, G., 2001. The effect of fish farming organic waste on food availability for bivalve molluscs (Gaeta Gulf, central Tyrrhenian, MED): stable carbon isotopic analysis. *Aquaculture*, Volumen 192, pp. 361-379.
- Medina, A. y otros, 1993. Un estudio comparativo del cultivo de *Oncorhynchus kisutch* W. en estanques costeros y balsas jaulas en el sur de Chile. *Revista Biología Marina, Valparaíso*, Volumen 28, pp. 247-259.
- Mente, E., Pierce, G. J., Santos, M. B. & Neofitou, C., 2006. Effect of feed and feeding in the culture of salmonids on the marine aquatic environment: a synthesis for European aquaculture. *Aquacult Int*, Volumen 14, pp. 499-522.

- Metaxa, E. et al., 2006. High rate algal pond treatment for water reuse in a marine fish recirculation system: water purification and fish health. *Aquaculture*, Volume 252, pp. 92-101.
- Møhlenberg, F. & Riisgård, H. U., 1979. Filtration rate, using a new indirect technique, in thirteen species of suspension-feeding bivalves. *Marine Biology*, Volume 54, pp. 143-147.
- Msuya, F. E. & Neori, A., 2008. Effect of water aeration and nutrient load level on biomass yield, N uptake and protein content of the seaweed *Ulva lactuca* cultured in seawater tanks. *Journal of Applied Phycology*, Volumen 20, p. 1021–1031.
- Muñoz, M. P. & Varas, Y. D., 1998. Absorción de nutrientes por *Gacilaria chilensis* (Rhodophyta) en estanques utilizando efluentes de peces y molsucos: efecto de la tasa de recambio de agua. *Tesis para obtener el grado de Ingeniero en Acuicultura, Universidad de Los Lagos: Osorno.*, p. 39.
- Navarrete-Mier, F., Sanz-Lázaro, C. & Marín, A., 2010. Does bivalve mollusc polyculture reduce marine fin fish farming environmental impact?. *Aquaculture*, Volume 306, pp. 101-107.
- Navarro, J. M., Labarta, U., Fernandez-Reiriz, M. J. & Velasco, A., 2003. Feeding behavior and differential absorption of biochemical components by the infaunal bivalve *Mulinia edulis* and the epibenthic *Mytilus chilensis* in response to changes in food regimes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Volume 287, pp. 13-35.
- Naylor, R. & Burke, M., 2005. Aquaculture and ocean resources: raising tigers of the sea. *Annual Review of Environment and Resources*, Volumen 30, pp. 185-218.
- Neori, A., 2008. Essential role of seaweed cultivation in integrated multi-trophic aquaculture farms for global expansion of mariculture: an analysis. *Journal of Applied Phycology*, 20(5), pp. 567-570.
- Neori, A., Cohen, I. & Gordin, H., 1991. *Ulva lactuca* biofilters for marine fishpond effluents: II. growth rate, yield and C:N ratio. *Botanica Marina*, Volumen 34, pp. 483-489.
- Neori, A. y otros, 2007. The Need for a balanced ecosystem approach to blue revolution aquaculture. *Environment*, Volumen 49, pp. 37-44.
- Newell, R. I. E., Hilbish, T. J., Koehn, R. K. & Newell, C. J., 1982. Temporal variation in the reproductive cycle of *Mytilus edulis* (Bivalvia, Mytilidae) from localities on the east coast of the United States. *Biological Bulletin*, Volume 162, pp. 299-310.
- Newell, R. I. & Jordan, S. J., 1983. Preferential ingestion of organic material by the American oyster *Crassostrea virginica*. *Marine Ecology Progress Series*, Volume 13, pp. 47-53.
- Ning, Z. y otros, 2016. Impacts of an integrated multi-trophic aquaculture system on benthic nutrient fluxes: a case study in Sanggou Bay, China. *AQUACULTURE ENVIRONMENT INTERACTIONS*, Volumen 8, pp. 221-232.

- Olsen, Y., Andersen, T., Gismervik, I. & Vadstein, O., 2011. Marine heterotrophic bacteria, protozoan and metazoan zooplankton may experience protein N or mineral P limitation in coastal water. *Marine Ecol Prog Ser*, Volumen 436, pp. 81-100.
- Osorio, C., 1979. Moluscos marinos de importancia económica en Chile. *Biol. Pesq. Chile*, Volumen 11, pp. 3-47.
- Pagand, P., Blancheton, J. P., Lemoalle, J. & Casellas, C., 2000. The use of high rate algal ponds for the treatment of marine effluent from a recirculating fish rearing system. *Aquaculture Research*, Volume 31, pp. 729-736.
- Page, H. M. & Hubbard, D. M., 1987. Temporal and spatial patterns of growth in mussels *Mytilus edulis* on an offshore platform: relationships to water temperature and food availability. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Volume 111, pp. 159-179.
- Page, M. H. & Ricard, Y. O., 1990. Food availability as a limiting factor to mussel *Mytilus edulis* growth in California coastal waters. *Fish. Bull. US*, Volumen 88, p. 677-686.
- Parsonage, K. D. & Petrell, R. J., 2003. Accuracy of a machine-vision pellet detection system. *Aquacultural Engineering*, Volumen 29, pp. 109-123.
- Parsons TR, H. P. W. R., 1978. An experimental simulation of changes in diatom and flagellate blooms. *J Exp Mar Biol Ecol*, Volume 32, p. 285-294.
- Pearson, T. H. & Black, K. D., 2001. The environmental impacts of marine fish cage culture. En: K. D. Black, ed. *Environmental Impacts of Aquaculture*. Oban, UK: Sheffield Biological Sciences, pp. 1-31.
- Peharda, M. et al., 2007. Growth and condition index of mussel *Mytilus galloprovincialis* in experimental integrated aquaculture. *Aquaculture Research*, Volume 38, pp. 1714-1720.
- Piedecausa, M. A., Aguado-Giménez, F., García-García, B. & Telfer, T. C., 2010. Total ammonia nitrogen leaching from feed pellets used in salmon aquaculture. *J Appl Ichthyology*, Volumen 26, pp. 16-20.
- Pietraka, M. R. y otros, 2012. Potential role. *Aquaculture*, Volumen 326-329, pp. 36-39.
- Piriz, M. L., 1998. Panorama actual de la ficología marina en Argentina. *Gayana Botanica*, 45(1-4), pp. 83-89.
- Platt, T., Gallegos, C. L. & Harrison, W. G., 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *J. Mar. Res.*, Volumen 38, pp. 687-701.
- Prins, T. C., Smaal, A. & Pouver, A. J., 1991. Selective ingestion of phytoplankton by the bivalves *Mytilus edulis* L. and *Cerastoderma edule* L. *Hydrobiological Bulletin*, Volume 25, pp. 93-100.

Rabiei, R. y otros, 2014. Bioremediation efficiency and biochemical composition of *Ulva reticulata* Forsskål (Chlorophyta) cultivated in shrimp (*Penaeus monodon*) hatchery effluent. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 13(3), pp. 621-639.

Redmond, K. J. y otros, 2010. Stable isotopes and fatty acids as tracers of the assimilation of salmon fish feed in blue mussels (*Mytilus edulis*). *Aquaculture*, Volumen 298, pp. 202-210.

Redmond, K. J. et al., 2010. Stable isotopes and fatty acids as tracers of the assimilation of salmon fish feed in blue mussels (*Mytilus edulis*). *Aquaculture*, Volume 298, pp. 202-210.

Reid, G. K. y otros, 2011. Open-water Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA): Modelling the Shelfish Component. *Bull. Aquacul. Assoc. Canada*, 109(2), pp. 1-12.

Reid, G. K. et al., 2013. Weight ratios of the kelps, *Alaria esculenta* and *Saccharina latissima*, required to sequester dissolved inorganic nutrients and supply oxygen for Atlantic salmon, *Salmo salar*, in Integrated Multi-Trophic Aquaculture systems. *Aquaculture*, Volume 408-409, pp. 34-46.

Reid, G. K. y otros, 2010. Absorption efficiency of blue mussels (*Mytilus edulis* and *M. trossulus*) feeding on Atlantic salmon (*Salmo salar*) feed and faecal particulates: implications for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture*, Volumen 299, pp. 165-169.

Reid, G. K. et al., 2009. A review of the biophysical properties of salmonid faeces: implications for aquaculture waste dispersal models and integrated multi-trophic aquaculture. *Aquacult Res*, Volume 40, p. 257-273.

Reid, G. K., Robinson, S. M., Chopin, T. & MacDonald, B. A., 2013. Dietary proportion threshold of fish culture solids required by organic extractive species to reduce the net organic load in open-water Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) systems: A scoping exercise with co-cultured Atlantic salmon & Blue mussel. *Journal of Shellfish Research*, 32(2), p. 509-517.

Reid, G. K., Shawn, M. C. R., Chopin, T. & MacDonald, B. A., 2013. Dietary proportion of fish culture solids required by shellfish to reduce the net organic load in open-water integrated multi-trophic aquaculture: A scoping exercise with cocultured Atlantic salmon (*Salmo salar*) and blue mussel (*Mytilus edulis*). *Journal of Shellfish Research*, 32(2), pp. 509-517.

Retamales, C. A. & Buschmann, A. H., 1996. *Gracilaria-Mytilus* interaction on a commercial algal farm in Chile. *Hydrobiologia*, Volumen 326/327, pp. 355-359 .

Retamales, C. A., Martínez, A. & Buschmann, A. H., 1994. Long term productivity and agar yield of *Gracilaria chilensis* in tank culture in southern Chile. *Rev Biol Mar Valparaíso*, Volumen 29, pp. 251-261.

Rhee, G. Y., 1978. Effects of N:P atomic ratios and nitrate limitation on algal growth, cell composition and nitrate uptake. *Limnology and Oceanography*, Volume 23, pp. 10-25.

- Riisgard, H. U., 1998. Filter feeding and plankton dynamics in a Danish fjord: a review of the importance of flow, mixing and density-driven circulation. *Journal of Environmental Management*, Volume 53, pp. 195-207.
- Rodhouse, P. G., Roden, C. M., Hensey, M. P. & Ryan, T. H., 1984. Resource allocation in *Mytilus edulis* on the shore and in suspended culture. *Marine Biology*, Volume 84, pp. 27-34.
- Rouillon, G. & Navarro, E., 2003. Differential utilization of species of phytoplankton by the mussel *Mytilus edulis*. *Acta Oecologica*, Volume 24, pp. 299-305.
- Ruiz, M. et al., 2008. Efecto de la temperatura en el desarrollo embrionario y larval del mejillón, *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 43(1), pp. 51-61.
- Samocha, T. M. y otros, 2015. Growth and nutrient uptake of the macroalga *Gracilaria tikvahiae* cultured with the shrimp *Litopenaeus vannamei* in an Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) system. *Aquaculture*, Volumen 446, pp. 263-271.
- Sandberg, N., Amundsen, E. & Rebours., C., 2016. An economic analysis of integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) - A Norwegian case study.. En: *22nd International Seaweed Symposium 2016*. Denmark: Academia Meets Industry, p. 78.
- Sanderson, J. C., Cromey, C. J., Dring, M. J. & Kelly, M. S., 2008. Distribution of nutrients for seaweed cultivation around salmon cages at farm sites in north-west Scotland. *Aquaculture*, Volume 278, p. 60-68.
- Santos, R., 2006. Special issue opening comments: seaweed-based integrated mariculture. *Aquaculture*, Volume 252, pp. 1-2.
- Sarà, G., 2006. Hydrodynamic effect on the origin and quality of organic matter for bivalves: an integrated isotopic, biochemical and transplant study. *Marine Ecology Progress Serie*, Volumen 328, pp. 65-73.
- Sarà, G., 2007. A meta-analysis on the ecological effects of aquaculture on the wáter column: dissolved nutrients. *Marine Environmental Research*, Volumen 63, pp. 390-408.
- Sarà, G. G. y otros, 2012. Growth and reproductive simulation of candidate shellfish species at fish cages in the southern Mediterranean: dynamic energy budget (DEB) modelling for integrated multitrophic aquaculture. *Aquaculture*, Volumen 324-325, p. 259-256.
- Sarà, G. y otros, 2011. Impacts of marine aquaculture at large spatial scales: evidences from N and P catchment loading and phytoplankton biomass. *Marine Environmental Research*, Volumen 71, p. 317-324.

- Sara, G., Zenone, A. & Tomasello, A., 2009. Growth of *Mytilus galloprovincialis* (mollusca, bivalvia) close to fish farms: a case of integrated multi-trophic aquaculture within the Tyrrhenian Sea. *Hydrobiologia*, Volume 636, pp. 129-136.
- Sarà, G., Zenone, A. & Tomasello, A., 2009. Growth of *Mytilus galloprovincialis* (mollusca, bivalvia) close to fish farms: a case of integrated multi-trophic aquaculture within the Tyrrhenian Sea. *Hydrobiologia*, Volume 636, pp. 129-136.
- Schaffelke, B., 1999. Particulate organic matter as a novel nutrient source for tropical macroalgae. *Journal of Phycology*, Volume 35, pp. 1150-1157.
- Schneider, O., Sereti, V., Eding, E. H. & Verreth, J. A., 2005. Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. *Aquaculture Engineering*, Volumen 323-4, pp. 379-401.
- Shpigel, M. y otros, 2016. Nutrient recovery and sludge management in seabream and grey mullet co-culture in Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA). *Aquaculture*, Volumen 462, pp. 316-322.
- Shuanglin, D., Jianguang, F., Henrice, J. & Johan, V., 2013. Review on integrated mariculture in China, including case studies on successful polyculture in coastal Chinese waters. *Workpackage 3, Support the application of Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA)*, Volume Deliverable D3.1, Case studies on successful polyculture examples in coastal Chinese, p. 39.
- Skar, C. K. & Mortensen, S., 2007. Fate of infectious salmon anaemia virus (ISAV) in experimentally challenged blue mussels *Mytilus edulis*. *Diseases of Aquatic Organisms*, Volume 74, pp. 1-6.
- Soto, D. & Mena, G., 1999. Filter feeding by the freshwater mussel, *Diplodon chilensis*, as a biocontrol of salmon farming eutrophication. *Aquaculture*, Volume 171, pp. 65-81.
- Soto, D., Salazar, F. J. & Alfaro, M. A., 2007. Considerations for comparative evaluation of environmental costs of livestock and salmon farming in southern Chile. In: D. M. Bartley, et al. eds. *Comparative assessment of the environmental costs of aquaculture and other food production sectors: methods for meaningful comparisons*. Rome, Italy: FAO, pp. 121-136.
- Starr, M., Himmelman, J. H. & Therriault, J. -C., 1990. Direct Coupling of Marine Invertebrate Spawning with Phytoplankton Blooms. *Science*, Volume 247, pp. 1071-1074.
- Steele, J. H., 1962. Environmental control of photosynthesis in the sea. *Limnology and Oceanography*, Volumen 7, pp. 137-150.
- Sterner, R. W. & George, N. B., 2000. Carbon, nitrogen, and phosphorus stoichiometry of cyprinid fishes. *Ecology*, Volumen 81, p. 127-140.
- Stevens, C., Plew, D., Hartstein, N. & Fredriksson, D., 2008. The physics of open-water shellfish aquaculture. *Aquacultural Engineering*, Volume 38, p. 145-160.

- Stirling, H. P. & Okumus, I., 1995. Growth and production of mussels (*Mytilus edulis*) suspended at salmon cages and shellfish farms in two Scottish sea lochs. *Aquaculture*, pp. 193-210.
- Suárez, B. & Guzmán, L., 1999. *Floraciones de Algas Nocivas: Mareas Rojas y Toxinas Marinas*. Santiago de Chile: Ed. Universitaria.
- Sugiura, S. H. y otros, 2006. Effluent profile of commercially used low-phosphorus fish feeds. *Environmental Pollution*, 140(1), p. 95–101.
- Sumbing, M. V., Al-Azad, S., Estim, A. & Mustafa, S., 2016. Growth performance of spiny lobster *Panulirus ornatus* in land-based Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) system. *Transactions on Science and Technology*, 3(1-2), pp. 143-149.
- Tacon, A. G., 2005. State of information on salmon aquaculture feed and the environment. En: *World Wildlife Fund (WWF) [Salmon Aquaculture Dialogue]*.  
s.l.:www.worldwildlife.org/ci/dialogues/salmon.cfm.
- Talbot, C., Preston, T. & East, B. W., 1986. Body-composition of atlantic salmon (*Salmo salar* L.) studied by neutron-activation analysis. *Comp Biochem Physiol A*, Volumen 85, p. 445–450.
- Tarifeño, E. et al., 2012. Erroneous identification of the mussel, *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck 1819) as the specie, *Mytilus chilensis* (Hupe 1854) in the Bay of Concepcion, Chile. *Gayana*, Volume 76, pp. 167-172.
- Taylor, B. E., Jamieson, G. & Carefoot, T. H., 1992. Mussel culture in British Columbia: the influence of salmon farms on growth of *Mytilus edulis*. *Aquaculture*, Volumen 108, pp. 51-66.
- Taylor, M. W. & Rees, T. A. V., 1999. Kinetics of ammonium assimilation in two seaweeds, *Enteromorpha* (Chlorophyceae) and *Osmundaria colensoi* (Rhodophyceae). *Journal of Phycology*, Volume 35, pp. 740-746.
- Taylor, R. B. & Rees, T. A., 1998. Excretory products of mobile epifauna as a nitrogen source for seaweeds. *Limnology and Oceanography*, Volume 43, pp. 600-606.
- Thompson, J. R., 1984. Production, reproductive effort, reproductive value and reproductive cost in a population of the blue mussel *Mytilus edulis* from a subarctic environment. *Mar. Ecol. Prog. Ser*, Volume 16, p. 249–257.
- Thornton, K. W. & Lessem, A. S., 1978. A temperature algorithm for modifying biological rates. *Trans. Am. Fish. Soc.*, Volumen 107, pp. 284-287.
- Topinka, J. A. & Robbins, J. V., 1976. Effects of nitrate and ammonium enrichment on growth and nitrogen physiology in *Fucus spiralis*. *Limnology Oceanography*, Volumen 21, pp. 659-664.

- Toro, J. E. et al., 2012. Production and performance of larvae and spat of pure and hybrid species of *Mytilus chilensis* and *M. galloprovincialis* from laboratory crosses. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 40(1), pp. 243-247.
- Troell, M. et al., 2003. Integrated mariculture: asking the right questions. *Aquaculture*, Volume 226, pp. 69-90.
- Troell, M. et al., 1997. Integrated marine cultivation of *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta) and salmon cages for reduced environmental impact and increased economic output. *Aquaculture*, Volume 156, p. 45–61.
- Troell, M. et al., 2009. Ecological engineering in aquaculture - Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. *Aquaculture*, 297(2009), pp. 1-9.
- Troell, M., Kautsky, N. & Folke, C., 1999a. Applicability of integrated coastal aquaculture system. *Ocean and Coastal Management*, Volumen 42, pp. 63-69.
- Troell, M. & Norberg, J., 1998. Modelling output and retention of suspended solids in an integrated salmon–mussel culture. *Ecological Modelling*, Volumen 110, pp. 65-77.
- Troell, M. y otros, 2006. Abalone farming in South Africa: an overview with perspectives on kelp resources, abalone feed, potential for on-farm seaweed production and socio-economic importance. *Aquaculture*, Volumen 257, pp. 266-281.
- Troell, M. y otros, 1999b. Ecological engineering in aquaculture: use of seaweed for removing nutrients from intensive mariculture. *Journal of Applied Phycology*, Volumen 11, pp. 89-97.
- Uriarte, I., 2008. Estado actual del cultivo de moluscos bivalvos en Chile. En: A. Lovatelli, A. Farías & I. Uriarte, edits. *Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina*. Puerto Montt, Chile: Taller Técnico Regional de la FAO. 20–24 de agosto de 2007, FAO Actas de Pesca y Acuicultura. No. 12. Roma, FAO, pp. 61-75.
- Vahl, O., 1972. Efficiency of particle retention in *Mytilus Edulis* L. *Ophelia*, Volume 10, pp. 2-25.
- van den Burg, S. y otros, 2013. *A triple P review of the feasibility of sustainable offshore seaweed production in the north sea*. Wageningen: Wageningen UR.
- Varjopuro, R., Sahivirta, E., Mäkinen, T. & Helminen, H., 2000. Regulation and monitoring of marine aquaculture in Finland. *Journal of Applied Ichthyology*, Volume 16, pp. 148-156.
- Vassallo, P., Doglioli, A. M., F, R. & Beiso, I., 2006. Determination of physical behaviour of feed pellets in Mediterranean water. *Aquacult Res*, Volumen 37, p. 119–126.
- Vázquez, J. A. & Vega, M. A., 2004. El Niño 1997-1998 en el norte de Chile: efectos en la estructura y en la organización de comunidades submareales dominadas por algas pardas. En: S. Avaria, J.

- Carrasco, J. Rutland & E. Yáñez, eds. *El Niño-La Niña 1997-2000: su efecto en Chile*. s.l.:Comité Oceanográfico Nacional, CONA, pp. 115-136.
- Viera, M. P., Courtois de Vicose G, G., Fernández-Palacios, H. & Izquierdo, M., 2016. Grow-out culture of abalone *Haliotis tuberculata coccinea* Reeve, fed land-based IMTA produced macroalgae, in a combined fish/abalone offshore mariculture system: effect of stocking density. *Aquaculture Research*, Volumen 47, pp. 71-81.
- Wallace, J. F., 1980. Growth rates of different populations of the edible mussel, *Mytilus edulis*, in north Norway. *Aquaculture*, Volumen 19, pp. 303-311.
- Wang, X., Olsen, L. M., Reitan, K. I. & Olsen, Y., 2012. Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*, Volumen 2, p. 267–283.
- Wang, X. X. et al., 2014. Assimilation of inorganic nutrients from salmon (*Salmo salar*) farming by the macroalgae (*Saccharina latissima*) in an exposed coastal environment: implications for integrated multi-trophic aquaculture. *J Appl Phycol*, Volume 26, p. 1869–1878.
- Westermeier, R., Gomez, I. & Rivera, P., 1993. Suspended farming of *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta, Gigartinales) at Cariquilda River, Maullin, Chile. *Aquaculture*, Volume 113, p. 215–229.
- Westermeier, R. et al., 2012. A pilot-scale study of the vegetative propagation and suspended cultivation of the carrageenophyte alga *Gigartina skottsbergii* in southern Chile. *Journal Applied Phycology*, Volume 24, pp. 11-20.
- Westermeier, R. & Ramirez, C., 1978. Algas marinas de Niebla y Mehuín (Valdivia-Chile). *Medio Ambiente*, Volume 3, pp. 44-49.
- Weston, D. P., 1990. Quantitative examination of macrobenthic community changes along an organic enrichment gradient. *Mar Ecol Prog Ser*, Volume 61, pp. 233-244.
- Wheeler, W. N., 1982. Nitrogen nutrition of *Macrocystis*. In: L. M. Srivastava, ed. *Synthetic and Degradative Processes in Marine Macrophytes*. Berlin: Walter de Gruyter, pp. 121-137.
- Whitmarsh, D., Cook, E. & Black, K., 2006. Economic prospects for an integrated salmon–mussel production system. *Marine Policy*, Volumen 30, p. 293–298.
- Widdows, J., Fieth, P. & Worrall, C. M., 1979. Relationships between seston, available food and feeding activity in the common mussel *Mytilus edulis*. *Marine Biology*, Volume 50, pp. 195-207.
- Worm, B. y otros, 2009. Rebuilding global fisheries. *Science*, Volumen 325, pp. 578-585.

- Wu, H. y otros, 2015a. Bioremediation using *Gracilaria chouae* co-cultured with *Sparus macrocephalus* to manage the nitrogen and phosphorous balance in an IMTA system in Xiangshan Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, Volumen 91, pp. 272-279.
- Wu, H. y otros, 2015b. Eutrophication assessment and bioremediation strategy using seaweeds co-cultured with aquatic animals in an enclosed bay in China. *Marine Pollution Bulletin*, Volumen 95, pp. 342-349.
- Xu, D. et al., 2011. Evaluation of the potential role of the macroalga *Laminaria japonica* for alleviating coastal eutrophication. *Bioresource Technology*, Volume 102, pp. 9912-9918.
- Yang, H. S., Zhou, Y., Hu, H. Y. & Liu, Y., 2006. Bioremediation potential of the macroalga *Gracilaria lemaneiformis* (Rhodophyta) integrated into fed fish culture in coastal waters of north China. *Aquaculture*, Volumen 252, p. 264-276.
- Yang, Y. y otros, 2015. Cultivation of seaweed *Gracilaria* in Chinese coastal waters and its contribution to environmental improvements. *Algal Research*, Volumen 9, pp. 236-244.
- Yokoyama, H. & Ishihi, Y., 2010. Bioindicator and biofilter function of *Ulva* spp. (Chlorophyta) for dissolved inorganic nitrogen discharged from a coastal fish farm — potential role in integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture*, Volumen 310, p. 74-83.
- Zhang, J. & Kitazawa, D., 2016. Assessing the bio-mitigation effect of integrated multi-trophic aquaculture on marine environment by a numerical approach. *Marine Pollution Bulletin*, Volumen 110, pp. 484-492.
- Zhang, J., Kitazawa, D. & Yang, C., 2016. A numerical modeling approach to support decision-making on design of integrated multitrophic aquaculture for efficiently mitigating aquatic waste. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 21(8), pp. 1247-1261.

**ANEXOS**

**Objetivo 1:** Recopilar información disponible, bibliográfica y de proyecto, nacionales e internacionales, que aporten con antecedentes referentes a los posible impactos en el medio ambiente, generados por monocultivos (Salmónidos, algas y moluscos filtradores) y cultivos multitrofos en donde tanto moluscos filtradores como macroalgas interactuarán con cultivos de salmónidos.

N°	Nombre	Cargo	Actividades												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	Dr. Patricio Campos S.	Jefe de Proyecto	15	5	90	60									
2	Msc Marcela Ávila	Investigador		3	60	40									
3	Dr. Alejandro Buschmann	Consultor		5	100	60									
4	Ricardo Riquelme	Investigador terreno		3	100	80									
5	Msc. María Inés Piel	Investigador cultivos algas		3											
6	Constanza De Zarate	Investigador terreno		3	180	80									
7	Felipe Pérez	Bioquímico Consultor													
8	Macarena Erbs*	Ingeniero de proyecto		3											
9	Msc. Alejandro Clement	Consultor		3	24										
10	Maria Paz Vega**	Ingeniero de proyecto													

**Detalle de horas utilizadas por actividad e integrante**

1. Coordinación
2. Reunión de coordinación
3. Recopilación de información bibliográfica
4. Elaboración de informe de avance

**Objetivo 2:** Implementar un sistema experimental de cultivos multitróficos en donde se asocie a un cultivo de salmónidos uno de moluscos filtradores y uno de macroalgas, corroborando las interacciones, los impactos ambientales, identificando la capacidad de remoción de nutrientes del cultivo de salmónidos y estimando costos de dicha implementación experimental.

N°	Nombre	Cargo	Actividades												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	Dr. Patricio Campos S.	Jefe de Proyecto	90	180	45	90	45								
2	Msc Marcela Ávila	Investigador	45	30	0	60	15								
3	Dr. Alejandro Buschmann	Consultor	147	42	0	0	21								
4	Ricardo Riquelme	Investigador terreno	0	385	55	110	0								
5	Msc. María Inés Piel	Investigador cultivos algas	0	144	0	16	0								
6	Constanza De Zarate	Investigador terreno	0	70	630	0	0								
7	Felipe Pérez	Bioquímico Consultor	33	133	0	0	0								
8	Macarena Erbs*	Ingeniero de proyecto	0	0	0	0	0								
9	Msc. Alejandro Clement	Consultor	120	30	0	0	0								
10	María Paz Vega**	Ingeniero de proyecto	0	0	0	0	0	175							

**Detalle de horas utilizadas por actividad e integrante**

1. Reunión de coordinación
2. Implementación de módulos experimentales
3. Toma de muestras
4. Análisis de muestras
5. Elaboración de informe de avance
6. Gestión y seguimiento del proyecto

**Objetivo 3:** Realizar un análisis de toda la información teórica existente referida al modelo teórico de traspaso de energía y nutrientes entre los tres grupos, incluidos cálculos y capacidades de remoción del medio.

N°	Nombre	Cargo	Actividades												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	Dr. Patricio Campos S.	Jefe de Proyecto	20	200	160	10									
2	Msc Marcela Ávila	Investigador	10	60	40										
3	Dr. Alejandro Buschmann	Consultor	10	40	40										
4	Ricardo Riquelme	Investigador terreno	15	200	160	10									
5	Msc. María Inés Piel	Investigador cultivos algas													
6	Constanza De Zarate	Investigador terreno		200	160	5									
7	Felipe Pérez	Bioquímico Consultor													
8	Macarena Erbs*	Ingeniero de proyecto		40	60	10									
9	Msc. Alejandro Clement	Consultor		40	80										
10	María Paz Vega**	Ingeniero de proyecto													

**Detalle de horas utilizadas por actividad e integrante**

1. Reunión de coordinación
2. Análisis de datos
3. Elaboración de informe
4. Gestión y seguimiento del proyecto

**Objetivo 4:** Realizar una comparación ambiental entre monocultivos y policultivos que describa las ventajas y desventajas de su aplicación en el medio marino. a partir de antecedentes técnicos recopilados en el estudio.

N°	Nombre	Cargo	Actividades																	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10								
1	Dr. Patricio Campos S.	Jefe de Proyecto	20	200	120	10														
2	Msc Marcela Ávila	Investigador	10																	
3	Dr. Alejandro Buschmann	Consultor	30	60	50															
4	Ricardo Riquelme	Investigador terreno	10	120	100	10														
5	Msc. María Inés Piel	Investigador cultivos algas																		
6	Constanza De Zarate	Investigador terreno				5														
7	Felipe Pérez	Bioquímico Consultor																		
8	Macarena Erbs*	Ingeniero de proyecto		90	100	10														
9	Msc. Alejandro Clement	Consultor			30															
10	María Paz Vega**	Ingeniero de proyecto																		

**Detalle de horas utilizadas por actividad e integrante**

1. Reunión de coordinación
2. Análisis de datos
3. Elaboración de informe
4. Gestión y seguimiento del proyecto

**ANEXO II**

**Actividades: FIP 2014-45**

**"Determinación de los impactos asociados a los cultivos de macroalgas y moluscos filtrados y su interacción con cultivos de salmónidos"**

Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	22
	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	dic
<b>Obj 1. Revisión literatura Inter y Nacional (Estado Arte)</b>	x	x	x	x														
Análisis Selección Área Estudio		x	x	x														
<b>Obj. 2. Implementación Sistema Experimental IMTA</b>																		
Gestión con Empresas Salmoneras		x	x	x														
Propuesta de Diseño Experimental				x														
Recopilación y Análisis información ambiental del sitio					x													
Estudio Oceanográfico preliminar sitio elegido						x												
Estudios Hidrodinámica mareas Sicigia y Cuadratura						x	x	x	x	x								
Instalación sistemas de Cultivo (Mitilidos + Algas)						x	x											
Taller Interno	x		x		x		x		x		x							
<b>Obj. 3. Modelo Teórico traspaso energía y nutrientes</b>							x	x	x	x	x							
<b>Obj. 4: Propuestas experimentales IMTA (Anál. FODA)</b>									x	x	x							
<b>Muestreo Terreno parámetros multitróficos</b>							x	x	x	x								
<b>Análisis de Datos Finales</b>									x	x	x	x						
Reuniones Coordinación FIP	x				x			x			x							
<b>Informe de Avance</b>				x				x										
Pre-Informe Final													x					
Taller																		x
Informe Final																		x

### Anexo III. Correos electrónicos enviados a Gerencia de Multiexport solicitando apoyo de un centro de cultivo de salmones, Categoría 3.

Acuicultura Multitrófica SUBPESCA



flobos

Añadir a círcu



Patricio Campos <pwcampos@gmail.com>  
para flobos

30/6/15 ☆



Most

Francisco Lobos  
Gerente de Concesiones, Medio Ambiente y Certificaciones  
Multiexport Foods

Estimado Francisco:

Soy Patricio Campos, de la Unap Pto Montt. El motivo de este correo es pedirte que nos apoyes en un estudio ambiental con potenciales efectos sobre la normativa sectorial. La Subpesca nos encargó un estudio (FIP) para evaluar una experiencia de acuicultura multi-trófica y necesitamos una empresa salmonera que nos permita trabajar en las inmediaciones de uno de sus centros. El Tema: Acuicultura Multi-Trófica Integrada (IMTA: Integrated MultiTrophic Aquaculture) que busca recuperar materia orgánica particulada (choritos) y materia inorgánica disuelta (macroalgas). Te adjunto Carta de Subpesca que respalda solicitud. También te adjunto cuatro diapositivas que resumen la investigación propuesta. Esperando te interese la actividad, quedo atento a tus comentarios

Atte



2 archivos adjuntos



Patricio Campos <pwcampos@gmail.com>  
para flobos

28/7/15 ☆



Estimado Francisco:  
Hace unas semanas te envié un correo con una solicitud de Centro de Cultivo. ¿Has revisado la factibilidad?

Saludos

----- Mensaje reenviado -----  
De: Patricio Campos <pwcampos@gmail.com>  
Fecha: 30 de junio de 2015, 18:30

## Anexo IV. Correo electrónico enviado a Gerencia de Asuntos Corporativos de Marine Harvest solicitando apoyo de un centro de cultivo de salmones Categoría 3.

solicita realizar actividades experimentales de proyecto financiado por Subpesca en centro de categoría 3 16\_FIP IMTA x 30 mar. ☆

**Avila Lagos, Marcela Del Pilar** <mavila@unap.cl>  
para Berta, mí

Estimada Berta,

Mediante la presente te hago llegar información mas detallada de la solicitud.

Recientemente como Instituto de Ciencia y Tecnología de la Universidad Arturo Prat nos hemos adjudicado un proyecto del Fondo de Investigación Pesquera (FIP) titulado "Determinación de los impactos asociados a los cultivos de macroalgas y moluscos filtradores y su interacción con cultivos de salmónidos" (FIP 2014-45).

Los contactamos a ustedes porque sabemos que como empresa son los que tienen mas experiencia en desarrollo de programas medioambientales. En dicho proyecto entre las actividades experimentales a desarrollar se necesita de un centro experimental para probar un sistema integrado multitrofico de cultivo que incluye macroalgas, mitilidos y salmónidos, por ello solicitamos nos puedan autorizar a realizar una actividad experimental en un centro de categoría 3 de vuestra empresa.

Para que ustedes conozcan los detalles del proyecto, su duración y actividades a desarrollar, podemos realizar una reunión donde les presentemos los alcances de dicha iniciativa, la cual es financiada por la Subsecretaría de Pesca dependiente del Ministerio de Economía.

En espera de tus comentarios se despide cordialmente,

Marcela Avila L.  
Directora  
Instituto de Ciencia y Tecnología  
Universidad Arturo Prat  
Ejército 443  
Puerto Montt

## Anexo V. Correo electrónico enviado a Analista Técnico de Marine Harvest

**De:** Jara, Eduardo <[Eduardo.Jara@marineharvest.com](mailto:Eduardo.Jara@marineharvest.com)>  
**Enviado:** martes, 21 de abril de 2015 15:38  
**Para:** Avila Lagos, Marcela Del Pilar  
**Cc:** Mancilla, Jorge; Contreras, Berta  
**Asunto:** RE: contacto para proyecto de Subsecretaría de Pesca

Hola Marcela, te contacto para conversar referente al proyecto de cultivos multitrofos financiado por Subpesca que indicas en el mail adjunto, mis números de contacto al pie de página para que nos coordinemos.  
Saludos

---

**Eduardo Jara**  
Technical Analyst  
MARINE HARVEST CHILE

---

MOBILE: +56 09 2187656  
DIRECT: +56 65 2221667  
MAIL: [eduardo.jara@marineharvest.com](mailto:eduardo.jara@marineharvest.com)

---

OFFICE: Ruta 226 km 8, Tepual  
Puerto Montt  
Chile

---

 **marineharvest**

:

## Anexo VI. Presentación enviada a Marine Harvest con justificación breve de solicitud de centro de cultivo

### FUNDAMENTOTÉCNICO

Acuicultura Multi-Trófica Integrada (IMTA): Estrategia de manejo que busca mejorar los rendimientos de producción en un sistema de cultivo, debido a que se aprovechan de mejor manera los recursos disponibles para el cultivo.

Consiste en el cultivo integrado de organismos que pertenecen a distintos niveles tróficos que complementan sus funciones en el ecosistema, así como su valor económico actual o potencial.

Integración de especies que puedan hacer uso de la energía y recursos disponibles en los diferentes niveles de la cadena trófica, estableciendo procesos de cultivos alternativos dentro del mismo centro de cultivo con la finalidad de generar fuentes extras de ingresos que ayuden a la sustentabilidad del mismo.

### OBJETIVO GENERAL

Identificar y evaluar interacciones que se presentan entre cultivos de macroalgas, mitilidos y salmónidos, junto con los posibles impactos asociados a ellos

#### Objetivo Específicos

- 1.- **Recopilar** información de posibles **impactos** en medio ambiente, generados por **Monocultivos** (Salmónidos, algas y moluscos) y **Cultivos Multitróficos** donde interactúan **moluscos, macroalgas y cultivos de salmónidos**.
- 2.- Implementar sistema experimental de cultivo multitrófico para corroborar **interacciones, impactos ambientales**, e identificar **capacidad de remoción** de nutrientes del cultivo de salmónidos y estimar **costos** de dicha estrategia.
- 3.- Analizar información teórica existente sobre **Modelo Teórico de Traspaso de Energía y Nutrientes** entre los 3 grupos, incluidos **cálculos y capacidades de remoción** del medio.
- 4.- Comparación ambiental entre **MONOCULTIVOS y POLICULTIVOS: Ventajas y Desventajas de aplicación** en medio marino, según antecedentes técnicos recopilados en estudio.

### **METODOLOGÍA**

- 1.- Basado en Antecedentes y Experiencia Internacional: Proponer Diseño e Implementar Sistema de Cultivo Multitrófico.
- 2.- Selección de Centro de Cultivo Categoría 3
- 3.- Recopilación de antecedentes ambientales y Levantamiento de Dinámica Oceanográfica del sitio
- 4.- Instalación de Sistema Multitrófico (IMTA): Salmones, Mitilidos, Macroalgas
- 6.- Estimación de TASA DE REMOCIÓN DE NUTRIENTES y efectos o impactos en el sector.
- 7.- Comparación Ambiental MONOCULTIVOS vs POLICULTIVOS: Ventajas y Desventajas

### **QUE SE ESPERA MARINE HARVEST**

- 1.- Facilitar de Centro de Cultivo Categoría 3 en zona cercana a Pto. Montt: Facilidades de Operación y no tan expuesto.
- 2.- Autorización y Apoyo para instalación de Sistema Multitrófico
- 3.- Facilitar información ambiental del Sitio: Batimetría, Información Oceanográfica, INFAs, CPS.
- 4.- Autorizar y facilitar labores de seguimiento de los experimentos
- 5.- Reuniones técnicas con ustedes tanto para discutir y recibir aportes de Marine Harvest sobre el diseño, seguimiento, resultados y propuestas de la experiencia.

**Anexo VII.- Carta de presentación del proyecto emitida por Subpesca para apoyar la gestión ante empresas de cultivo de salmón**



**Anexo VIII.- Respuesta de Marine Harvest y Centro de Cultivo propuesto para realizar experimentos Multitróficos.**

2015-07-10 11:43 GMT-04:00 Patricio Campos <[pwcampos@gmail.com](mailto:pwcampos@gmail.com)>:

----- Mensaje reenviado -----

De: **Contreras, Berta** <[Berta.Contreras@marineharvest.com](mailto:Berta.Contreras@marineharvest.com)>

Fecha: 8 de julio de 2015, 16:27

Asunto: RE: respuesta a participacion en proyecto FIP SUBPESCA

Para: "Avila Lagos, Marcela Del Pilar" <[mavila@unap.cl](mailto:mavila@unap.cl)>, "Jara, Eduardo" <[Eduardo.Jara@marineharvest.com](mailto:Eduardo.Jara@marineharvest.com)>

Cc: "Mancilla, Jorge" <[Jorge.Mancilla@marineharvest.com](mailto:Jorge.Mancilla@marineharvest.com)>, Patricio Campos <[pwcampos@gmail.com](mailto:pwcampos@gmail.com)>

Hola Marcela:

Disculpa nuestra demora en responder, han sido días intensos en lo laboral, no había sido fácil identificar que centros pudieran calificar para este proyecto, ya que inicialmente lo pensamos para un centro productivo estándar. Luego de analizarlo internamente nos parece que centro experimental Huenquillahue, cumpliría con estas características, y es logísticamente lo más recomendado para usar.

Atentos saludos

**Berta Contreras Mutis**

Gerente Asuntos Corporativos

**MARINE HARVEST CHILE**

---

MOBILE: [+56 99 219 9551](tel:+56992199551)

DIRECT: [+56 65 2221 677](tel:+56652221677)

MAIL: [Berta.Contreras@marineharvest.com](mailto:Berta.Contreras@marineharvest.com)

---

OFFICE: Ruta 226 km 8, Tepual  
Puerto Montt  
Chile



## Anexo IX.- Características del Centro de Cultivo Huenquillahue, propuesto por la empresa Marine Harvest.

 **Sepúlveda, Natally** <Natally.Sepulveda@marineharvest.com>  
para Mauricio, Eduardo, mí, Marcela, Jorge

22/7/15 ☆ ↶ ↷

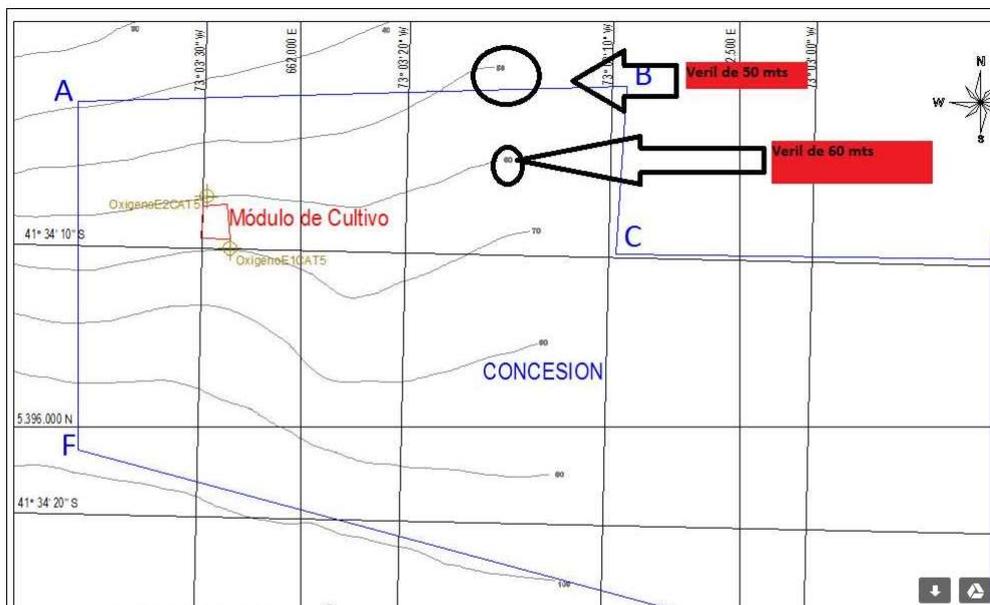
Eduardo:

Aquí va lo solicitado.

1. Tipo de Sustrato: ¿Es blando y profundidades  $\leq 60$  m? En su gran mayoría es categoría 5 mayor a 60mts y un % menor categoría 3 fondo blando-

Categoría	Centro de Cultivo		Profundidad		Tipo de sustrato		
	Lago	Mar	> 60 metros	$\leq 60$ metros	Blando	Semi Duro	Duro
3		X		X	X		
4	X	X		X		X	X
5	X	X	X				
7	X			X	X		

Si te fijas desde la ubicación del modulo de cultivo hacia el norte esta bajo el veril 60 mts corresponde a categoría 3 fondo blando., lo demas todo sobre el veril de 60 mts correspondiente a categoría 5.



Saludos,

**Natally Sepúlveda Toloza**

Asesoría y Análisis Estratégico  
Asuntos Corporativos  
MARINE HARVEST CHILE

**From:** Uribe, Fernan  
**Sent:** Wednesday, July 22, 2015 4:39 PM  
**To:** Jara, Eduardo  
**Subject:** RE: Proyecto FIP Multitrófica

Hola Eduardo,  
Te respondo las consultas:  
Saludos,  
Fernan

Estimado Eduardo:

La próxima etapa corresponde proponer a la Subsecretaría de Pesca el Centro de Cultivo donde se realizarán los estudios comprometidos (Centro de Cultivo Categoría 3)

Necesitamos saber en relación con el **Centro Huenquillahue**, lo siguiente:

**1. Cuál es la producción máxima anual proyectada (que sean superiores a 50 toneladas) la biomasa máxima que podríamos alcanzar (teóricamente), son 60 ton, que son las 24 jaulas con 500 peces cada una, con peces de 5kg promedio.**

2. Tipo de Sustrato: ¿Es blando y profundidades =< 60 m?

Los experimentos se iniciarán en SEPTIEMBRE y terminarán en DICIEMBRE

**3. ¿Biomasa estimada al 01 de Septiembre de 2015? 6678kg**

**4. ¿Biomasa Estimada al 30 de Diciembre de 2015? 15055kg**

\*\*\*

**Anexo X.- Solicitud a la empresa Marine Harvest de un nuevo Centro de Cultivo que cumpla las características exigidas por los TTR.**

Patricio Campos <pwcampos@gmail.com>  
para Eduardo, Marcela ▾

28/7/15 ☆  

Estimado Eduardo:

En primer lugar, muchas gracias por la información y oferta del Centro Huenquillahue.

Después de analizar con el grupo de trabajo y las exigencias de Subpesca, les quisiéramos solicitar evaluaran la posibilidad de usar otro centro de cultivo con características más productivas.

La distancia y facilidades de operación de Huenquillahue son excelentes, pero la biomasa en cultivo hace imposible registrar algún efecto remediador de las macroalgas y mitilidos

La biomasa del centro Huenquillahue no responde a los objetivos del estudio y no asegura una generación de nutrientes disueltos que incida en una respuesta significativa de las macroalgas y mitilidos.

Por lo anterior, les solicitamos evalúen autorizar un centro operativo de salmónidos con una mayor biomasa.

Quedamos atentos a tu respuesta.

Saludos

...

---

Jara, Eduardo <Eduardo.Jara@marineharvest.com>  
para mí, Marcela ▾

3/8/15 ☆  

Estimados, junto con saludar le comento que la semana pasada conversamos con Berta respecto a la factibilidad de hacer este proyecto en un centro de producción, a lo cual ella me planteo varias consultas referentes a los plazos, fechas de puesta en marcha y temas operacionales que potencialmente se realizarían dentro de la concesión. De ser posible les solicito mayor información para poder evaluar la realización de este proyecto en el corto plazo, favor dudas nos comunicamos.

Saludos

Eduardo

9 218 76 56

## Anexo XI.- Respuesta final negativa de la empresa Marine Harvest de un nuevo Centro de Cultivo que cumpla con las características exigidas por los TTR.

---

 **Patricio Campos** <pwcampos@gmail.com> 1/9/15 ☆ ↶ ▾  
para Berta Contreras, Eduardo, Marcela ▾

Estimado Eduardo:  
En relación con Proyecto FIP de Acuicultura Multitrófica, el 04 de agosto les enviamos las respuestas a consultas para usar un centro productivo para los experimentos propuestos.  
Desafortunadamente el Centro Experimental Huenquillahue no cumplía con los requisitos exigidos por la Subpesca, por lo que ustedes habían quedado de evaluar otra alternativa.  
Consulta: Es posible reunirnos para evaluar un centro productivo que cumpla los requisitos del FIP?

Muchas gracias

Patricio Campos S.

...

---

 **Jara, Eduardo** <Eduardo.Jara@marineharvest.com> 1/9/15 ☆ ↶ ▾  
para mí, Marcela, Berta ▾

Hola Patricio:

Revisamos la posibilidad de facilitar algún centro bajo las condiciones que el proyecto requiere pero dada nuestra actual productivo no tenemos disponibilidad para este año. Si estimas necesario discutir esto en persona no hay problema con agendar una reunión para la próxima semana.

Saludos  
Eduardo.

**From:** Patricio Campos [mailto:[pwcampos@gmail.com](mailto:pwcampos@gmail.com)]  
**Sent:** Tuesday, September 01, 2015 11:58 AM  
**To:** Jara, Eduardo; Contreras, Berta; Marcela Avila  
**Subject:** Re: Multitrófica Huenquillahue

...

## Anexo XII. Correos de coordinación para primera reunión con empresa Salmones Camanchaca y temas de análisis en esa y sucesivas conversaciones.

Reunión por proyecto FIP 2014-45 ● Recibidos x 2\_FIP IMTA x 📧 🖨 📧

 **José Carroza** <jose.carroza@camanchaca.cl> 📅 30/7/15 ☆ ↩ ⌵  
para Andrés, Hugo, mí ⌵

ago.  
**3**  
lun.

### Reunión por proyecto FIP 2014-45

[Míralo en Google Calendar](#)

**Cuándo** lun 3 de ago de 2015 17:00 – 18:30 (CLT)

**Ubicación** Sala Calbuco piso 13

**Participantes** Hugo Quiñones, Andrés Bórquez (6253), José Carroza\*

### Agenda

lun 3 de ago de 2015

*No hay eventos anteriores.*

**17:00** Reunión por proyecto FIP 2014-45

*No hay eventos posteriores.*

Presentación de proyecto.

 **José Carroza** <jose.carroza@camanchaca.cl> 4/8/15 ☆  
para mí, Marcela, Andrés ⌵

Buenas tardes estimados,

Les comento que nos han surgido algunas dudas que nos gustaría despejar:

1. ¿Cuántas unidades se instalarán de algas y choritos?
2. ¿Cómo se instalarán estas unidades?
3. ¿Qué parámetros se medirán en las algas y choritos?
4. ¿Habrán mediciones de antibióticos en las algas y choritos?
5. ¿Habrán mediciones de pesticidas (contra caligus) en las algas y choritos?

Atento a sus comentarios.

Saludos.



**JOSÉ CARROZA VALDIVIA, MCs**  
Analista de Medio Ambiente

Tel. [+56 65 2327246](tel:+56652327246)  
Cel. [+56 9 63348279](tel:+56963348279)  
[jose.carroza@camanchaca.cl](mailto:jose.carroza@camanchaca.cl)  
[www.camanchaca.cl](http://www.camanchaca.cl)

*Cuidemos juntos el Medio Ambiente. Evitemos imprimir de más*

**Anexo XIII. Respuesta negativa final de la empresa Salmones Camanchaca a autorizar a instalar los experimentos multitróficos en el Centro Mañihueico.**

 **José Carroza (6246)** <jose.carroza@camanchaca.cl> 28/9/15 ☆    
para mí, Andrés ▾

Buenas tardes Patricio,

Te comento que nos pudimos reunir con el Gerente General y con el Gerente Regional de la empresa. Lamentablemente no tuvimos la respuesta esperada y no podremos participar en este proyecto. Lamentamos haberte hecho perder el tiempo y esperamos todo el éxito en este proyecto.

Saludos.



**JOSÉ CARROZA VALDIVIA, MCs**  
Analista de Medio Ambiente

Tel. [+56 65 2327246](tel:+56652327246)  
Cel. [+56 9 63348279](tel:+56963348279)  
[jose.carroza@camanchaca.cl](mailto:jose.carroza@camanchaca.cl)  
[www.camanchaca.cl](http://www.camanchaca.cl)

## Anexo XIV. Respuesta de la empresa Salmones Austral que autoriza implementar los experimentos multitróficos en el Centro Tenaún.

RE: propuesta

2\_FIP IMTA x



**Patricio Mansilla Sigel** <patricio.mansilla@salmonesaustral.cl>  
para mí, Marcela, Andres

11/8/15



Patricio:

Nuestro Gerente General nos indicó que podíamos realizar la prueba con ustedes, la única modificación que tenemos es el centro de cultivo a ocupar que será el centro Tenaun ya que el que habíamos propuesto nosotros saldrá a cosecha antes de la fecha que habíamos conversado. Adjunto ubicación de este nuevo centro.-

Espero tus comentarios.-

**Patricio Mansilla Sigel**  
**Salmones Austral SPA**

Ruta 5 sur KM 1030 Camino Pargua  
Puerto Montt

☎ (56 65) 222 7000 Central

☎ (56 65) 222 7000 Directo

**De:** Patricio Campos [mailto:[pwcampos@gmail.com](mailto:pwcampos@gmail.com)]

**Enviado el:** viernes, 07 de agosto de 2015 16:55

**Para:** Andres Rosa

**CC:** Marcela Avila; [patricio.mansilla@salmonesaustral.cl](mailto:patricio.mansilla@salmonesaustral.cl)

**Asunto:** Re:

Estimado Andrés:

Adjunto un resumen (Word) de lo conversado en la reunión.

Va también un par de láminas sobre el proyecto y la Carta de la Subpesca.

Cualquier duda, nos avisan para apoyar.

Gracias

Patricio Campos S  
f: 68680302

2015-08-07 17:31 GMT-03:00 Andres Rosa <[andres.rosa@salmonesaustral.cl](mailto:andres.rosa@salmonesaustral.cl)>:

**Anexo XV. Solicitud de aprobación por parte del FIPA-Subpesca del Centro Tenaún de Salmones Austral, para la realización de los experimentos multitróficos.**

Puerto Montt, 14 de agosto de 2015

Señor  
Luis Carroza L.  
Secretario Ejecutivo  
Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura  
Valparaíso

Ref: Propuesta de Centro Cultivo, Proyecto FIP 2014-45.

Estimada Sr. Carroza:

De acuerdo a las Bases Técnicas del Proyecto FIP 2014-45, la selección del centro de cultivo de salmones donde se realizarán los experimentos debe ser en común acuerdo con la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, por lo que solicitamos su autorización para elegir el centro que describimos más adelante.

Como condición, el centro a seleccionar debe corresponder a un cultivo de salmónidos de Categoría 3 de la Región de Los Lagos, es decir un centro de cultivo con sistemas de producción intensivo, ubicado en ambiente marino, cuyas producciones máximas anuales proyectadas sean superiores a 50 toneladas, en sitios con sustrato blando y profundidades iguales o inferiores a 60 metros (Título I, Párrafo II, literal D ii) de la Res. Ex. (MINECOM) N°3612 de 2009).

Para este fin, se hizo gestiones con cuatro empresas de cultivo de la Región de Los Lagos: Salmones Marine Harvest, Salmones Multiexport, Salmones Camanchaca y Salmones Austral.

La empresa **Salmones Austral** fue la primera en comunicar su apoyo y autorización para realizar los experimentos en una de sus concesiones.

A continuación informamos las características del Centro de Cultivo propuesto para la aprobación de la Subsecretaría de Pesca y, de este modo, continuar con las actividades necesarias para poner en marcha el experimento.

- Empresa: **Salmones Austral Spa.**
- Centro de Cultivo: **Noreste Punta Tenaun**
- Solicitud Concesión de Acuicultura N°203 103 129 (**Cód. Centro N°103824**)
- Especie: **Salmón del Atlántico (*Salmo salar*)**
- Fecha de ingreso de smolt: **Julio-Agosto de 2014**
- Número de peces ingresados: **960.000**
- Peso promedio inicial: **148 g.**
- Fecha programada de cosecha: **Diciembre de 2015**
- Biomasa estimada a cosecha: **3.240 toneladas**
- Número de jaulas y tamaño: **16 jaulas de 30x30.**
- Profundidad: **<60 m**
- Tipo fondo: **Blando**

- Categoría de Centro: **3**
- Velocidad Promedio de la Corriente (4-10 m): **15 cm/s**

El Centro de Cultivo Tenaun está ubicado en el Canal Quicaví, al NE de la Punta Tenaun, coordenadas de referencia Lat. 42° 19' 11,16" S. Long 73° 21' 03,76" W., en la costa de la Isla Grande de Chiloé, entre las localidades de Dalcahue y Quemchi.

Las coordenadas son las siguientes:

Vértices	Latitud S	Longitud W	Lado	Distancia (m)
A	42° 19' 11,16"	73° 21' 03,76"	A-B	165
B	42° 19' 11,06"	73° 20' 56,55"	B-C	210
C	42° 19' 17,67"	73° 20' 58,69"	C-D	112
D	42° 19' 17,74"	73° 21' 03,58"	D-A	203
PTO. REF.	42° 19' 19,71"	73° 21' 11,21"		

Coordenadas SHOA WGS 84.

#### **Gestiones con otras Empresa Salmonera**

Se tomó contacto con otras tres empresas cultivadoras de salmón: Marine Harvest, Multiexport y Camanchaca y los resultados de dicha gestión son los siguientes:

a.- **Marine Harvest.** Desde el 30 de marzo de 2015 se han tenido contactos con su Gerencia Corporativa y Gerencia Técnica y, después de varias consultas, el 08 de julio nos ofrecieron el Centro Experimental Huenquillahue, ubicado a 20 km de Pto Montt, de 24 jaulas con 500 peces c/u y una biomasa estimada al 30 de diciembre de 15 ton (peso promedio=1,2 kg). Profundidad superior a 60 m. Se rechazó la oferta y se solicitó un nuevo centro con características productivas y Categoría 3. Hasta la fecha no han dado respuesta, pero nos informaron que están evaluando la nueva solicitud.

b.- **Camanchaca Salmones:** Nos reunimos con su Departamento de Medio Ambiente el 03 de agosto y hasta la fecha se encuentran evaluando la solicitud.

c.- **Salmones Multiexport.** Nunca dio respuesta a nuestras solicitudes

Esperando sus comentarios, se despide atentamente;

Patricio Campos S  
 Jefe de Proyecto  
 FIP 2014-45

**Anexo XVI. Carta de Invitación a Taller de Presentación de los Resultados del Proyecto**

Puerto Montt, 12 de diciembre de 2016

**Sr.**  
**Mauro Araneda**  
Gerente Técnico  
Los Fiordos  
Puerto Montt

Estimada Araneda:

Por encargo del Consejo de Investigación Pesquera y Acuicultura, la Universidad Arturo Prat desarrolló el Proyecto FIPA 2014-45 "*Determinación de los Impactos Asociados a los Cultivos de Macroalgas y Moluscos Filtradores y su Interacción con Cultivos Salmónidos.*"

Por medio de la presente, la Universidad Arturo Prat y el equipo de profesionales encargados de llevar a cabo dicho estudio, desea invitarlo cordialmente a un Taller de Difusión y Discusión de los resultados del Proyecto, para el martes 20 de diciembre de 2016, a las 10:00 horas, en el Salón "Puerto Montt" del Hotel Diego de Almagro, ubicado en Ejército 516, Puerto Montt.

Es de nuestro mayor interés su participación, con el fin de contar con su experiencia en el aporte de observaciones y sugerencias sobre los resultados del proyecto, y así poder analizar y discutir propuestas de manejo integrado de la acuicultura en el sur de Chile.

Esperando contar con su presencia, se despide atentamente de usted:

  
Patricio Campos S.  
Jefe de Proyecto

## **Programa Taller**

### **Proyecto FIPA 2014-45**

“Determinación de los Impactos Asociados a los Cultivos de Macroalgas y Moluscos Filtradores y su Interacción con Cultivos Salmónidos.”

10:00	10:30	Patricio Campos S.	Presentación Objetivos del Proyecto y Resultados Relevantes
10:30	11:15	Alejandro Clement D.	Dinámica de los Nutrientes Inorgánicos Generados por la Actividad Acuícola
11:15	11:30		Café
11:30	12:15	Alejandro Buschman R.	Potencial de las Macroalgas para Mitigar los Nutrientes Generados en el Cultivo de Salmónidos.
12:15	13:00		Discusión

## **Anexo XVII. Nómina de Invitados al Taller**

### **LISTADO DE INVITADOS A TALLER 20.12.2016**

#### **Servicios Públicos Sectoriales**

##### **Raúl Súnico Galdames**

Director  
Subsecretaría de Pesca y Acuicultura  
Valparaíso

##### **Cristián Acevedo V**

División de Acuicultura  
Unidad de Asuntos Ambientales  
Valparaíso  
[cristianac@subpesca.cl](mailto:cristianac@subpesca.cl)

##### **Juan Gutiérrez P.**

Director Zonal  
Subpesca  
Puerto Montt  
[jgutierrez@subpesca.cl](mailto:jgutierrez@subpesca.cl)

##### **Eduardo Aguilera L.**

Director Regional  
Sernapesca  
Puerto Montt  
[eaguilera@sernapesca.cl](mailto:eaguilera@sernapesca.cl)

##### **Jorge Pasmínio Cuevas**

Ministerio del Medio Ambiente  
SEREMI Los Lagos  
(56-65) 2562364

##### **Alfredo Wendt Scheblein**

Director Regional  
Servicio de Evaluación Ambiental  
Región de Los Lagos  
[awendt.10@sea.gob.cl](mailto:awendt.10@sea.gob.cl)

##### **Leonardo Guzmán**

Director  
División Investigación en Acuicultura  
Balmaceda N° 252  
Puerto Montt  
[leonardo.guzman@ifop.cl](mailto:leonardo.guzman@ifop.cl)

**Alfredo Tello G**

Gerente General  
Instituto Tecnológico del Salmón  
INTESAL  
Juan Soler Manfredini 41. Of. 1802.  
Puerto Montt

**Ximena Rojas M.**

Jefa Área Ambiente  
INTESAL  
[xrojas@intesal.cl](mailto:xrojas@intesal.cl)

**Empresas**

**Andrés Rosa K.**

Gerente Técnico  
Salmones Austral SPA  
[andres.rosa@salmonesaustral.cl](mailto:andres.rosa@salmonesaustral.cl)

**Patricio Mansilla S.**

Gerente de Proyecto  
Salmones Austral SPA  
[patricio.mansilla@salmonesaustral.cl](mailto:patricio.mansilla@salmonesaustral.cl)

**Oscar Hofmann**

Jefe Medio Ambiente y Concesiones  
Salmones Austral SpA  
[oscar.hofmann@salmonesaustral.cl](mailto:oscar.hofmann@salmonesaustral.cl)

**José Carroza V.**

Analista de Medio Ambiente  
Cía. Pesquera Camanchaca  
[jose.carroza@camanchaca.cl](mailto:jose.carroza@camanchaca.cl)

**Hugo Quiñones D.**

Analista de Medio Ambiente  
Cía. Pesquera Camanchaca  
[hugo.quinones@camanchaca.cl](mailto:hugo.quinones@camanchaca.cl)

**Francisco Lobos**

Gerente de Medio Ambiente, Concesiones y Certificaciones  
Multiexport Foods  
[flobos@multiexportfoods.com](mailto:flobos@multiexportfoods.com)

**Catherine Bruce**

Jefa de Medio Ambiente  
Cermaq Group  
[catherine.bruce@cermaq.com](mailto:catherine.bruce@cermaq.com)

**Ricardo Calvetti Z.**

Subgerente Concesiones y Medio Ambiente  
Cermaq  
ricardo.calvetti@cermaq.com

**Claudio Paz**

Gerente Concesiones & Medio Ambiente  
Australis Seafoods S.A.  
Presidente Riesco 5711, oficina 1603, Las Condes, Santiago - Chile  
[cpaz@australis-sa.com](mailto:cpaz@australis-sa.com)

**Erik Montes**

Encargado de Concesiones  
Aquachile  
[erik.montes.lagos@gmail.com](mailto:erik.montes.lagos@gmail.com)

**Aníbal Venegas J.**

Jefe de Medio Ambiente  
Yadrán  
avenegas@yadran.cl

**Guillermo Brain Pizarro**

Gerente de Concesiones y Medio Ambiente  
gbrain@yadran.cl

**Francisco Sandoval**

Gerente de Sustentabilidad y Relaciones con la Comunidad  
Los Fiordos  
[fsandoval@losfiordos.cl](mailto:fsandoval@losfiordos.cl)

**Mauro Araneda**

Gerente Técnico  
Los Fiordos  
maraneda@losfiordos.cl

**Rodolfo Alvarado**

Gerente Técnico  
Aquachile  
[rodolfo.alvarado@aquachile.com](mailto:rodolfo.alvarado@aquachile.com)

**Catalina Urzua**

Corporate Communications and  
Sustainability Director  
Ventisqueros S.A.  
[curzua@ventisqueros.cl](mailto:curzua@ventisqueros.cl)

**Pablo Mazo**

Technical Area Manager  
Ventisqueros S.A.  
[pmazo@ventisqueros.cl](mailto:pmazo@ventisqueros.cl)

**Brenda Luisa Vera S**

Salmones Magallanes S.A.  
Gerente Técnico  
[bvera@salmonesmagallanes.cl](mailto:bvera@salmonesmagallanes.cl)

**Andrés Streuly**

Gerente Técnico  
Marine Farm  
[astreuly@marinefarm.cl](mailto:astreuly@marinefarm.cl)

**Paola De la Parra**

Jefe de Medio Ambiente  
Marine Farm  
[pdelaparra@marinefarm.cl](mailto:pdelaparra@marinefarm.cl)

**Víctor Valerio Y.**

Gerente de Innovación y Desarrollo  
Salmones Friosur  
[vvalerio@friosur.cl](mailto:vvalerio@friosur.cl)

**Moisés Rivera**

Asistente de Medio Ambiente  
Salmones Friosur  
[mrivera@friosur.cl](mailto:mrivera@friosur.cl)

**Eduardo Jara**

Technical Analyst  
Marine Harvest Chile  
[eduardo.jara@marineharvest.com](mailto:eduardo.jara@marineharvest.com)

**Berta Contreras**

Gerente  
Asuntos Corporativos  
Marine Harvest Chile  
[berta.contreras@marineharvest.com](mailto:berta.contreras@marineharvest.com)

**Jorge Mancilla**

Fish Health & Nutrition Manager  
Marine Harvest Chile  
[Jorge.Mancilla@marineharvest.com](mailto:Jorge.Mancilla@marineharvest.com)

**Natally Sepúlveda**

Jefe de Concesiones y Regulaciones

Marine Harvest Chile

[Natally.Sepulveda@marineharvest.com](mailto:Natally.Sepulveda@marineharvest.com)

**Andrés Bórquez K**

Concesiones y Medio Ambiente

Blumar

[Borquez.kortmann@gmail.com](mailto:Borquez.kortmann@gmail.com)

**José Miguel Troncoso**

Scientist EWOS Innovation

[jose.troncoso@ewos.com](mailto:jose.troncoso@ewos.com)

**SERVICIOS Y OTROS**

**Francisco Javier Salamanca G.**

Gerente General

GEEAA

[fsalamanca@geeaa.cl](mailto:fsalamanca@geeaa.cl)

**Roberto Alvarado V.**

Jefe de Medio Ambiente

GEEAA

[ralvarado@geeaa.cl](mailto:ralvarado@geeaa.cl)

**Rodrigo Rosales Carreño**

Presidente

AmiChile

[rrosales@sudmaris.com](mailto:rrosales@sudmaris.com)

**Hernán Troncoso Saavedra**

AmiChile

[htroncososaavedra@gmail.com](mailto:htroncososaavedra@gmail.com)

**Hildi Castro**

RAMALAB

[Hilrocas@ramalab.cl](mailto:Hilrocas@ramalab.cl)

**Claudio Torres R.**

Asociación Gremial de Cultivadores de Moluscos

Director

[claudiotorresr@gmail.com](mailto:claudiotorresr@gmail.com)

**Walter Eduardo Kaiser A.**

Asociación Gremial de Cultivadores de Moluscos

Presidente

[walter.kaiser@gmail.com](mailto:walter.kaiser@gmail.com)

**Eugenio Yokota B.**

Asociación Gremial de Cultivadores de Moluscos

Director

[eyokota@granjamar.cl](mailto:eyokota@granjamar.cl)

**Miriam Seguel**

[mseguel@uach.cl](mailto:mseguel@uach.cl)

**Mario Sanhueza Acuña**

[msanhueza.10@sea.gob.cl](mailto:msanhueza.10@sea.gob.cl)

**Mario Núñez**

Profesional Independiente

Cultivo de Macroalgas

[marionuneorell@gmail.com](mailto:marionuneorell@gmail.com)

**ULAGOS**

**Verena Marín**

Estudiante Tesista

Universidad de Los Lagos

**Daniela Uribe**

Estudiante Tesista

Universidad de Los Lagos

**UNAP**

**Constanza de Zarate**

Equipo de Trabajo

ICYT-UNAP

**Ricardo Riquelme**

ICYT-UNAP

**Andrea Grunewaldt**

ICYT-UNAP

**María Inés Piel**

ICYT-UNAP

**Felipe Pérez**

Plancton Andino

Anexo XVIII. Nómina de Asistentes al Taller

ASISTENTES TALLER DE DIFUSIÓN DE RESULTADOS FIPA 2014-15.

"Determinación de los Impactos Asociados a los Cultivos de Macroalgas y Moluscos Filtradores y su Interacción con Cultivos Salmonídeos."  
Puerto Montt, martes 20 de diciembre de 2016

Nº	NOMBRE	INSTITUCION	FIRMA
1.	Florencia Mamoneke	UST Copiaco	
2.	Renuelee	UST	
3.	Eduardo Busta	UST	
4.	NORIE MONTOZ B	USY	
5.	Alejandro Buschmann	Ulaqueo	
6.	Felipe Pérez	UNAP	
7.	Geysí Umata G	Realizador Foods. S.A.	geysia@salmax.com



ASISTENTES TALLER DE DIFUSIÓN DE RESULTADOS FIPA 2014-45.

"Determinación de los Impactos Asociados a los Cultivos de Macroalgas y Moluscos Filtradores y su Interacción con Cultivos Salmonidos."

Puerto Montt, martes 20 de diciembre de 2016

Nº	NOMBRE	INSTITUCION	FIRMA
8-	Mara Sans P.J	UNDP	
9-	Doso Lavozza	Salmonos Lavanduz	
10-	Patricio Campos	UNAP	
11-	Alejandro Clement	Placeta Aquacno Spa.	
12-	Andrea Escarvold	UNAP	
13-	Luis Cayo Olmos	SRANDSCA   Cayo@srandsc.com	
14-	Verena Marin Saldúa	UNAP	



**ASISTENTES TALLER DE DIFUSIÓN DE RESULTADOS FIPA 2014-45.**

*"Determinación de los Impactos Asociados a los Cultivos de Macroalgas y Moluscos Filtradores y su Interacción con Cultivos Salmonidos."*  
Puerto Montt, martes 20 de diciembre de 2016

Nº	NOMBRE	INSTITUCION	FIRMA
15-	Daniela Rube	UNAP	
16.-	OSCAR HOFMANN	Salmones Puzmasul	
17.	LOPELZO FURBER	VLAGOS - OSCAR	

**Anexo XIX**  
**Evaluación Económica**  
**Objetivo 2**

**INVERSIONES (\$)**

**1. CULTIVO (UNIDAD PRODUCTIVA EQUIVALENTE A 100 METROS DE CULTIVO DE ALGAS Y 100 METROS DE CULTIVO DE CHORITOS)**

**a) Centro Tierra**

**Equipo**

Ítem	Vida Útil (años)	Cantidad (unidades)	Costos Unitario (\$)	Total (\$)
<b>Total Equipos</b>				

**Infraestructura**

Ítem	Vida Útil (años)	Cantidad (unidades)	Costos Unitario (\$)	Total (\$)

**Terreno**

Ítem	Vida Útil (años)	Cantidad (unidades)	Costos Unitario (\$)	Total (\$)

**Total Inversiones Centro  
Tierra**

**0**

**b) Centro de Mar**

**Equipo**

Ítem	Vida Útil (años)	Cantidad (unidades)	Costo Unitario (\$)	Costo 1 Sistema (\$)	Costo Total U. Prod. (\$)
Profundímetro	5	1	80.000	80.000	80.000
Equipo hooka	3	1	600.000	600.000	600.000
Manguera (m)	2	200	500	100.000	100.000
Traje buceo	1	2	150.000	300.000	300.000
Reguladores	1	2	100.000	200.000	200.000
Bote fibra vidrio (6m eslora)	10	1	1.500.000	1.500.000	1.500.000
Motor fuera borda (15 HP)	10	1	1.300.000	1.300.000	1.300.000
Balsa corriente	10	1	100.000	100.000	100.000
Herramientas	5	1	50.000	50.000	50.000
sembrador de pelillo	5	2	50.000	100.000	100.000
<b>Total Equipos</b>					<b>4.330.000</b>

Ítem	Vida Útil (años)	Cantidad (unidades)	Costo Unitario (\$)	Costo 1 Sistema (\$)	Costo Total U. Prod. (\$)
Flotadores: boyas poliestireno expandido					
Flotadores 350 lt	5	20	17.500	350.000	350.000
Flotadores 150 lt	5	14	14.688	205.632	205.632
Flotadores 30 lt	5	24	12.964	311.136	311.136
<b>Subtotal</b>					<b>866.768</b>
Sistemas suspendidos de líneas					
Cordel 12mm	5	200	370	74.000	74.000
Grilletes	5	16	1.300	20.800	20.800
Guarda cabos	5	16	1.000	16.000	16.000
<b>Subtotal</b>					<b>110.800</b>
<b>Total Infraestructura</b>					<b>977.568</b>
<b>Total Inversiones Centro de Mar</b>					<b>5.307.568</b>
<b>Total Inversiones</b>					<b>5.307.568</b>

**ESTRUCTURA DE COSTOS (\$)**

**1. CULTIVO (UNIDAD PRODUCTIVA EQUIVALENTE A 100 METROS DE CULTIVO DE ALGAS Y 100 METROS DE CULTIVO DE CHORITOS)**

**a) Etapa Tierra**

**Costos Fijos**

Ítem	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Mensual (\$)	Meses	Costo Total (\$/año)
Operarios técnico	1	200.000	200.000	12	2.400.000
<b>Total Costos Fijos</b>					<b>2.400.000</b>

**Costos Variables**

Ítem	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Mensual (\$)	Meses	Costo Total (\$/año)
Operarios temporales	40	10.000	400.000	1	400.000
Arriendo de galpón	1	150.000	150.000	4	600.000
Redes	8	50.000	400.000	1	400.000
Cabos y pitas	1	500.000	500.000	1	500.000
semilla de choritos	420	1100	462.000	1	462.000
Compra de algas (semilla)					200.000
<b>Total Costos Variables</b>					<b>2.562.000</b>

<b>Total Costos Centro Tierra</b>	<b>4.962.000</b>
-----------------------------------	------------------

**b) Etapa Centro de Mar y Maquila**

**Costos Fijos**

Ítem	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Mensual (\$)	Meses	Costo Total (\$/año)
Operarios técnico	1	200.000	200.000	12	2.400.000
Buzo	1	200.000	200.000	12	2.400.000
Chaleco salvavidas	3	20.000	60.000	1	60.000
Ropa de agua (traje, botas)	3	20.000	60.000	1	60.000
Combustibles y lubricantes	1	80.000	80.000	12	960.000
Servicios básicos	1	35.000	35.000	12	420.000
Material de aseo	1	5.000	5.000	12	60.000
Material de oficina	1	10.000	10.000	12	120.000
Patente concesión (ha)	3	55.700	167.100	1	167.100
<b>Total Costos Fijos</b>					<b>6.647.100</b>

### Costos Variables

Ítem	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Mensual (\$)	Meses	Costo Total (\$/año)
Operarios temporales	2	200.000	400.000	2	800.000
<b>Total Costos Variables</b>					<b>800.000</b>

<b>Total Costos Centro Mar</b>	<b>7.447.100</b>
--------------------------------	------------------

<b>Total Costos Cultivo</b>	<b>12.409.100</b>
-----------------------------	-------------------

### COSTOS (MM\$)

Mano de obra calificada	7,2
Mano de obra no calificada	1,2
Insumos	2
Otros	2
<b>Total costos</b>	<b>12</b>

### DETALLE DE LA ESTRUCTURA DE INGRESOS Y COSTOS

#### COSTOS ELABORACIÓN

Costo unitario	alga pelillo húmedo	\$/kilo	<b>353</b>
Costo unitario	alga luga roja húmedo	\$/kilo	<b>4.007</b>
Costo unitario	choritos	\$/kilo	<b>81</b>

#### SUPUESTOS

Volumen alga pelillo producido (kg/año)	2.500
Volumen alga luga producido (kg/año)	320
Volumen choritos (kg/año)	12.500
Precio venta alga pelillo húmedo (M\$/t)	100
Precio venta alga luga roja húmedo (M\$/t)	420
Precio venta choritos (M\$/t)	230

\*\*\*\*\*Agregar al ANEXO Evaluación Económica

**INVERSIONES (\$)**

**1. CULTIVO (UNIDAD PRODUCTIVA EQUIVALENTE A 20 HECTAREAS DE CULTIVO DE ALGAS)**

**a) Centro Tierra**

**Equipo**

Ítem	Vida Útil (años)	Cantidad (unidades)	Costos Unitario (\$)	Total (\$)
<b>Total Equipos</b>				

**Infraestructura**

Ítem	Vida Útil (años)	Cantidad (unidades)	Costos Unitario (\$)	Total (\$)

**Terreno**

Ítem	Vida Útil (años)	Cantidad (unidades)	Costos Unitario (\$)	Total (\$)

<b>Total Inversiones Centro Tierra</b>	<b>0</b>
--	----------

**b) Centro de Mar**

**Equipo**

Ítem	Vida Útil (años)	Cantidad (unidades)	Costo Unitario (\$)	Costo 1 Sistema (\$)	Costo Total U. Prod. (\$)
Profundímetro	5	2	80.000	160.000	160.000
Equipo hooka	3	2	600.000	1.200.000	1.200.000
Manguera (m)	2	200	500	100.000	100.000
Traje buceo	1	2	150.000	300.000	300.000
Reguladores	1	2	100.000	200.000	200.000
Bote fibra vidrio (6m eslora)	10	1	1.500.000	1.500.000	1.500.000
Motor fuera borda (15 HP)	10	1	1.300.000	1.300.000	1.300.000
Balsa corriente	10	1	100.000	100.000	100.000
Herramientas	5	10	50.000	50.000	500.000
sembrador de pelillo	5	2	50.000	100.000	100.000
<b>Total Equipos</b>					<b>5.460.000</b>

Ítem	Vida Útil (años)	Cantidad (unidades)	Costo Unitario (\$)	Costo 1 Sistema (\$)	Costo 12 Sistema (\$)	Costo Total U. Prod. de 20 ha (\$)
Flotadores: boyas poliestileno expandido						
Flotadores 150 lt	5	14	14.688	205.632	2.467.584	49.351.680
Flotadores 30 lt	5	24	12.964	311.136	3.733.632	74.672.640
Anclaje de hormigón	5	240	120.000	240.000	2.880.000	57.600.000
<b>Subtotal</b>						<b>181.624.320</b>
Sistemas suspendidos de líneas						
Cordel 12mm	5	100	370	37.000	444.000	8.880.000
Grilletes	5	8	800	6.400	76.800	1.536.000
Guarda cabos	5	8	600	4.800	57.600	1.152.000
<b>Subtotal</b>						<b>11.568.000</b>
<b>Total Infraestructura</b>						<b>193.192.320</b>
<b>Total Inversiones Centro de Mar</b>						<b>198.652.320</b>
<b>Total Inversiones</b>						<b>198.652.320</b>

ESTRUCTURA DE COSTOS (\$)

**1. CULTIVO (UNIDAD PRODUCTIVA EQUIVALENTE A 20 HECTAREAS DE CULTIVO DE ALGAS)**

**a) Etapa Tierra**

**Costos Fijos**

Ítem	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Mensual (\$)	Meses	Costo Total (\$/año)
Operarios técnico	1	400.000	400.000	12	4.800.000
<b>Total Costos Fijos</b>					<b>4.800.000</b>

**Costos Variables**

Ítem	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Mensual (\$)	Meses	Costo Total (\$/año)
------	----------	---------------------	--------------------	-------	----------------------

Operarios temporales	2	260.000	520.000	12	6.240.000
Arriendo de galpón	1	350.000	350.000	12	4.200.000
Cabos y pitas	20	800.000			16.000.000
Compra de algas (semilla)	20	2400000	2400000		48.000.000
<b>Total Costos Variables</b>					<b>74.440.000</b>

<b>Total Costos Centro Tierra</b>	<b>79.240.000</b>
-----------------------------------	-------------------

**b) Etapa Centro de Mar y Maquila**

**Costos Fijos**

Ítem	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Mensual (\$)	Meses	Costo Total (\$/año)
Operarios técnico	1	400.000	400.000	12	4.800.000
Buzo	2	400.000	400.000	12	9.600.000
Chaleco salvavidas	40	10.000	400.000	1	400.000
Ropa de agua (traje, botas)	20	20.000	400.000	1	400.000
Combustibles y lubricantes	1	200.000	200.000	12	2.400.000
Servicios básicos	1	70.000	70.000	12	840.000
Material de aseo	1	40.000	40.000	12	480.000
Material de oficina	1	10.000	50.000	12	600.000
Patente concesión (ha)	20	55.700	371.333	1	371.333
<b>Total Costos Fijos</b>					<b>19.891.333</b>

**Costos Variables**

Ítem	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Mensual (\$)	Meses	Costo Total (\$/año)
Operarios temporales	6	300.000	1.800.000	4	7.200.000
<b>Total Costos Variables</b>					<b>7.200.000</b>

<b>Total Costos Centro Mar</b>	<b>27.091.333</b>
--------------------------------	-------------------

<b>Total Costos Cultivo</b>	<b>106.331.333</b>
-----------------------------	--------------------

<b>Total</b>	<b>304.983.653</b>
--------------	--------------------

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL NEGOCIO PRODUCTIVO**  
(Unidades en Millones de Pesos)

ITEM	PERIODO en años									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>INGRESOS</b>										
Venta de Productos	0,0	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
Otros Ingresos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Ingresos totales</b>	0,0	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
<b>EGRESOS</b>										
Costos fijos	0,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Costos Variables	0,0	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
Gastos de administración, ventas y comercialización	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Depreciación y amortización	0,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
<b>Egresos totales</b>	0,0	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1
<b>Utilidades antes de impuesto</b>	0,0	-9,8	-9,8	-9,8	-9,8	-9,8	-9,8	-9,8	-9,8	-9,8
Impuesto a las utilidades (17%)	0,0	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7	-1,7
Utilidad después de impuesto	0,0	-8,1	-8,1	-8,1	-8,1	-8,1	-8,1	-8,1	-8,1	-8,1
Más depreciación y amortización	0,0	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6
<b>INVERSIONES</b>										
Costo de LICENCIAS/Royalties a pagar a la Institución	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Inversión en equipos e instalaciones	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Capital de trabajo	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0
Valor residual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>FLUJO DE CAJA NETO</b>	-15,0	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	2,4
<b>TIR</b>	No es calculable									
<b>VAN</b>	<b>-Ch\$56,00</b>									

**ANEXO XX**  
**BASE DE DATOS**

Biomasa inicial y final de *Gracilaria chilensis* durante la época de primavera

ubicación	Pi		Pf	
	fecha	kg	fecha	kg
SW	28 sept 2015	0,69	17 nov 2016	2,31
SW		0,79		2,53
SW		0,79		3,09
SW		0,64		2,88
SW		0,53		3,06
SW		0,64		2,71
SW		0,65		1,15
SE		0,6		2,05
SE		0,66		2,56
SE		0,88		1,31
SE		0,61		1,8
SE		0,85		1,81
SE		1		1,76
SE		0,67		1,42
NW		0,76		1,84
NW		0,86		2,35
NW		0,81		1,9
NW		1,04		1,72
NW		0,74		2,23
NW		0,75		1,64
NW	0,91	2,59		
NW	0,57	1,43		
NE	0,67	0,89		
NE	0,76	1,95		
NE	0,8	1,36		
NE	0,56	1,67		
NE	0,63	1,93		
NE	0,69	2,19		
Control 1	30 sept 16	0,63	17 nov 2016	1,74
Control 1		0,65		1,9
Control 1		0,66		1,19
Control 1		0,69		1,29
Control 1		0,69		1,54
Control 1		0,69		1,29
Control 1		0,86		1,08
Control 1		0,61		2,27
Control 1		0,68		1,25

Control 1		0,64		1,76
Control 2		1		1,72
Control 2		0,65		1,56
Control 2		0,83		0,75
Control 2		0,74		1,6
Control 2		0,7		1,64
Control 2		0,84		0,97
Control 2		0,79		1,69
Control 3		0,8		1,55
Control 3		0,71		2,38
Control 3		0,71		2,46
Control 3		0,89		2,04
Control 3		0,92		2,25
Control 3		0,67		2,37
Control 3		0,76		2,51

Biomasa inicial y final de *Gracilaria chilensis* durante la época de verano

ubicación	Pi		Pf	
	fecha	Kg	Fecha	kg
SW	19 nov 2015	0,65	7 ene 2015	3,42
SW		0,59		3,03
SW		0,53		2,73
SW		0,56		3,36
SW		0,6		3,04
SW		0,57		2,43
SE		0,51		1,58
SE		0,54		1,58
SE		0,54		2,28
SE		0,58		2,38
SE		0,57		1,78
SE		0,74		1,33
NW		0,65		2,54
NW		0,59		2,39
NW		0,56		2,73
NW		0,56		3,25
NW		0,59		2,69
NW		0,6		2,75
NE		0,69		0,87
NE		0,54		1,17
NE	0,56	0,68		

NE		0,56		0,65
NE		0,75		0,8
NE		0,74		0,83
NE		0,56		0,85
Control 2	26 nov 2015	0,75	7 ene 2015	1,02
Control 2		0,68		0,74
Control 2		0,74		1,08
Control 2		0,58		0,8
Control 2		0,61		0,75
Control 2		0,56		0,9
Control 3		0,54		1,19
Control 3		0,53		0,95
Control 3		0,56		1,54
Control 3		0,53		1,45
Control 3		0,56		0,93
Control 3		0,52		1,09

Biomasa inicial y final de *Gigartina skottsbergii* durante la época de primavera

ubicación	Peso inicial 17 oct 2015	Peso final 17 dic 2015
SW	13,1	26
SW	10,6	23
SW	16,7	22
SW	8,8	22
NW	15,8	40
NW	15,7	16
NW	12,5	25
NW	18,1	24
NW	10,4	14
NW	13,7	24
NW	14,3	18
NW	12,2	34
NW	12,8	25
NW	12,5	24
NW	12,3	25
SW	12,8	26
SW	8,5	23
SW	15,1	18
SW	17,7	27
SW	9,4	20

SE	13,5	26
SE	19,3	18
SE	11,3	30
SE	15,0	22
SE	12,3	29
SE	10,0	18
SE	11,9	25
SE	13,5	13
NE	11,6	35
NE	13,7	13
NE	16,5	24
NE	18,8	15
NE	7,5	19
NE	14,8	14
Control 1	12,1	20
Control 1	17,7	30
Control 1	15,6	36
Control 1	13,0	18
Control 1	12,3	24
Control 1	15,0	26
Control 1	11,8	15
Control 2	10,3	17
Control 2	14,2	19
Control 2	15,0	36
Control 3	10,0	23
Control 3	16,6	30
Control 3	14,5	37
Control 3	16,4	36
Control 3	11,3	16
Control 3	18,0	15
Control 3	12,9	14
Control 3	9,9	18
Control 3	13,5	5
Control 3	12,6	15
Control 3	14,7	23
Control 3	13,9	28
Control 3	14,4	21
Control 3	12,4	18
Control 3	14,2	23

Talla inicial y final de *Gigartina skottsbergii* durante la época de primavera

ubicación	Longitud inicial 17 oct 2015	Longitud muestreo 17 dic 2015
SW	19,5	23
SW	15,0	25
SW	19,7	19
SW	18,5	23
NW	22,5	27
NW	18,0	24
NW	20,0	26
NW	15,5	19
NW	19,4	16
NW	20,4	19
NW	19,0	17
NW	22,0	25
NW	20,4	22
NW	18,4	21
NW	19,6	16
SW	18,5	24
SW	19,2	22
SW	21,0	20
SW	19,6	32
SW	18,0	20
SE	22,9	30
SE	19,5	30
SE	18,0	23
SE	21,1	23
SE	15,7	23
SE	16,5	23
SE	18,2	20
SE	23,8	18
NE	15,4	30
NE	15,0	20
NE	20,9	28
NE	18,9	21
NE	19,0	21
Control 1	16,0	18
Control 1	17,5	20
Control 1	20,0	25
Control 1	17,6	19
Control 1	19,6	26

Control 1	28,0	25
Control 1	17,5	25
Control 2	16,6	28
Control 2	19,7	24
Control 2	16,5	29
Control 2	19,5	26
Control 3	21,8	11
Control 3	18,5	19
Control 3	17,8	27
Control 3	20,5	20
Control 3	20,5	23
Control 3	17,5	24
Control 3	19,6	23
Control 3	18,0	20
Control 3	16,8	23
Control 3	18,0	26
Control 3	17,0	29
Control 3	11,8	19
Control 3	21,0	19
Control 3	18,0	21
Control 3	13,0	30
Control 3	19,5	16

Determinación de la Porcentaje de sobrevivencia de *Gigartina skottsbergii* durante la época de primavera (15 de diciembre de 2015)

Ubicación	NUM DE FRONDA			Numero de Frondas	Número máximo de frondas	%Sobrevivencia
	0	1	2			
SW		6	4	14	20	70%
SW	2	6	2	10	20	50%
SW	0	8	2	12	20	60%
SW	1	4	5	14	20	70%
SW	2	4	4	12	20	60%
SW	6	2	2	6	20	30%
SW	1	5	4	13	20	65%
SW	3	6	1	8	20	40%
SW	3	4	3	10	20	50%
SW	2	6	3	12	22	55%
NW	7	2	1	4	20	20%
NW	3	5	2	9	20	45%
NW	2	4	6	16	24	67%
NW	1	3	6	15	20	75%
NW	2	4	5	14	22	64%
NW	1	5	5	15	22	68%
NW	2	6	3	12	22	55%
NW	4	3	3	9	20	45%
NW	4	6	1	8	22	36%
NW	2	5	3	11	20	55%
SE	0	4	6	16	20	80%
SE	4	4	2	8	20	40%
SE	2	4	5	14	22	64%
SE	3	5	4	13	24	54%
SE	2	5	4	13	22	59%
Control 1	1	4	5	14	20	70%
Control 1	2	5	3	11	20	55%
Control 1	2	7	2	11	22	50%
Control 1	0	8	2	12	20	60%
Control 1	2	4	4	12	20	60%
Control 1	1	3	6	15	20	75%
Control 1	2	5	5	15	24	63%
Control 1	3	6	2	10	22	45%

INSTITUTO  
DE CIENCIA Y  
TECNOLOGIA  
**ICYT**  
PUERTO MONTT

Control 1	1	4	5	14	20	70%
Control 2	2	8	7	22	34	65%
Control 2	1	2	7	16	20	80%
Control 2	1	5	4	13	20	65%
Control 2		5	5	15	20	75%
Control 2	1	4	5	14	20	70%
Control 3	3	2	5	12	20	60%
Control 3	1	6	4	14	22	64%
Control 3	3	7	1	9	22	41%
Control 3	4	2	5	12	22	55%
Control 3	3	4	5	14	24	58%
Control 3	4	5	2	9	22	41%
Control 3	3	5	3	11	22	50%
Control 3	4	4	2	8	20	40%
Control 3	4	4	4	12	24	50%

Talla inicial y final de mejillones

<b>Siembra (inicial) 30 sept 2015</b>				<b>Cosecha-Sal-SW 25 ene 2015</b>		<b>Cosecha-Sal-SE 25 ene 2015</b>		<b>Cosecha-Sal-NE 25 ene 2015</b>		<b>Cosecha-Sal-NW 25 ene 2015</b>		<b>Cosecha-Control 1 25 ene 2015</b>		<b>Cosecha-Control 2 25 ene 2015</b>	
<b>Longitud</b>				<b>Longitud</b>		<b>Longitud</b>									
12,1	12,1	14,1	11,9	38,5	38,4	14,7	29,0	11,5	29,6	14,5	29,6	26,6	23,4	32,5	8,7
14,0	14,3	16,0	14,1	41,7	41,1	17,6	11,7	14,5	33,0	17,3	33,0	29,4	23,9	38,5	24,0
15,8	15,9	12,3	16,4	44,6	44,5	29,1	14,4	29,9	35,1	33,6	35,1	19,9	26,3	11,3	9,1
17,7	14,0	13,9	17,9	39,3	32,0	23,9	17,3	11,2	37,9	35,3	37,9	20,6	20,7	29,2	11,3
14,0	15,8	15,8	9,8	41,3	35,9	26,5	20,7	17,4	35,5	38,5	35,1	29,3	27,0	32,6	26,6
16,1	17,9	10,1	12,1	44,5	39,1	29,7	29,9	11,6	17,0	26,7	14,3	15,0	29,6	8,2	11,2
12,0	19,7	12,1		14,6	29,3	11,7	32,7	14,5	23,6	29,2	23,4	29,5	9,0	12,3	29,4
10,2	9,9	13,8		20,3	35,2	14,8	29,8	12,0	26,1	11,7	29,6	26,9	11,4	23,7	34,9
12,2	12,1	15,6		39,0	38,3	17,3	32,5	32,2	11,2	14,4	35,0	27,7	21,2	9,3	
14,2	13,8	11,8		41,0	41,4	11,8	35,4	35,5	20,5	11,5	11,6	32,4		11,0	
16,0	10,2	13,9		35,7	14,4	23,6	29,8	38,1	26,5	14,0	17,7	25,0		26,4	
14,0	12,1	16,2		44,3	24,1	29,1	32,5	41,4	29,3	29,4	20,7	32,8		29,5	
15,9	14,0	18,1		41,7	30,0	14,3	35,4	12,1		32,6		37,5		26,7	
18,1	16,0	10,3		44,3	32,6	17,2	11,5	14,9		14,8		20,4		32,2	
9,8	12,0	11,8		38,2	43,9	26,4	14,5	26,4		17,8		23,4		35,1	
12,2	13,9	13,8		41,4	15,0	11,6	17,4	29,4		32,4		26,2		32,7	
14,1	16,2	13,9		44,2	16,8	14,8	23,8	32,4		38,4		26,9		35,5	
10,0	12,3	16,0		11,9	35,7	26,8	29,4	11,5		11,4		29,7		20,2	
12,0	13,9	14,1		14,7		32,0	11,5	17,5		32,5		32,6		23,8	
13,5	15,9	15,9		41,9		17,5	14,4	20,6		11,4		17,8		26,2	
10,4	18,1	17,9		44,4		20,4	17,5	23,9		38,5		23,6		29,5	
12,0	12,0	13,9		14,0		11,9		32,7		0,9		25,9		23,5	
14,0	21,6	16,2		32,9		14,2		35,2		11,6		17,7		29,4	
15,9	16,0	17,7		35,7		26,6		38,0		20,1		24,6		9,2	
9,9	18,0	12,2		38,5		29,6		26,6		29,0		26,6		11,2	
11,9	10,2	14,1		42,0		32,9		33,1		32,6		17,1		23,7	

Biomasa inicial y final de mejillones

<b>Siembra (inicial) 30 sept 2015 Peso</b>	<b>Cosecha-Sal-SW 25 ene 2015 Peso</b>	<b>Cosecha-Sal-SE 25 ene 2015 Peso</b>	<b>Cosecha-Sal-NE 25 ene 2015 Peso</b>	<b>Cosecha-Sal-NW 25 ene 2015 Peso</b>	<b>Cosecha-Control 1 25 ene 2015 Peso</b>	<b>Cosecha-Control 2 25 ene 2015 Peso</b>
0,1 0,1 0,1 0,4	4,7 4,2	0,3 2,2	0,1 1,6	0,4 2,4	1,7 2,4	2,9 0,2
0,2 0,2 0,2 0,1	5,4 5,2	0,5 2,8	0,3 2,9	0,4 3,4	2,4 0,6	4,6 1,4
0,3 0,3 0,4 0,1	6,9 0,3	2,0 0,2	2,5 3,6	3,0 4,1	1,6 1,5	0,2 0,1
0,4 0,4 0,2 0,2	5,1 1,1	1,6 0,3	0,2 0,6	3,8 0,3	1,9 1,9	2,5 1,5
0,2 0,3 0,2 0,3	6,1 1,9	2,1 0,5	0,7 1,5	5,0 1,2	2,8 0,9	3,3 0,1
0,3 0,4 0,4 0,1	7,3 2,6	2,6 1,4	0,2 1,9	1,9 2,3	0,4 2,0	0,1 0,2
0,1 0,6 0,5 0,2	0,3 5,6	0,1 2,6	0,3 0,1	2,6 3,6	2,3 2,7	0,2 1,7
0,1 0,2 0,2 0,3	0,9 0,3	0,3 0,2	0,2 1,0	0,1 0,2	2,0 0,1	1,5 0,2
0,1 0,3 0,3 0,5	4,6 0,4	0,5 0,3	2,6 2,1	0,3 0,5	2,4 0,2	0,1 2,3
0,2 0,4 0,4 0,1	5,1 3,2	0,2 0,5	3,2 3,0	0,2 0,8	2,4 1,4	0,2 3,2
0,3 0,1 0,5 0,1	4,2 3,8	1,6 2,5	4,1 1,2	0,3 2,4	2,0 1,7	1,9
0,2 0,2 0,1 0,2	6,9 4,8	2,2 0,1	4,7 2,4	2,9 3,1	2,5	2,5
0,3 0,3 0,1	4,5 6,0	0,3 0,3	0,2 2,9	3,5 4,1	3,8	2,0
0,5 0,2 0,3	5,5 2,3	0,5 0,5	0,4 0,2	0,3 4,7	1,1	2,9
0,1 0,3 0,2	3,6 3,5	1,9 0,8	1,9 0,3	0,5	1,5	3,8
0,2 0,4 0,3	4,5 4,0	0,2 2,3	2,5 2,6	2,7	2,0	3,3
0,2 0,6 0,5	5,5 2,1	0,4 2,9	3,3	4,5	1,8	3,9
0,1 0,1 0,6	0,3 3,4	2,0 2,4	0,2	0,1	2,5	0,9
0,1 0,1 0,1	0,3 4,5	3,1 2,8	0,6	2,8	3,1	1,4
0,2 0,2 0,2	4,8 5,2	0,5 3,8	1,1	0,2	0,7	1,9
0,1 0,1 0,3	5,5	0,8 2,4	1,8	4,8	1,6	2,6
0,2 0,1 0,4	0,3	0,2 2,8	2,8	0,1	2,1	1,3
0,2 0,2 0,2	2,5	0,3 3,8	3,7	0,2	0,8	2,4
0,3 0,3 0,3	3,3	1,8	4,3	0,8	1,7	0,1

## **ANEXO XXI**

### **Informe Filmaciones Submarinas**

## **INFORME DE EVALUACIÓN SUBMARINA A CULTIVO DE TENAUN**

### **Resumen**

Se pudo observar que los cultivos de choritos se encuentran en buenas condiciones, con excepción de la línea ubicada en la cabecera Nor-Oeste, que fue cortada producto de un enredo de un barco que efectúa servicios en el centro de salmones. Esto provocó que en esta línea se perdieron las cuelgas de choritos ubicados desde el centro hasta el extremo Este. Las cuelgas que quedaron en esta línea, en su mayoría tienen grandes pérdidas de biomasa producto del roce.

Con respecto al panorama general de los cultivos de choritos se observaron individuos de mayor tamaño en la cabecera sur, que en la cabecera norte y a su vez los choritos del centro son más grandes que los ubicados en los centros control.

En lo que respecta a las algas, se pudo observar que el pelillo ha tenido un crecimiento evidente con claras diferencias entre los cultivos del centro de salmones y las áreas control. Se pudo observar que las cuelgas ubicadas en la cabecera Sur-Oeste, son las más largas con talos de hasta 70 cm.

En los cultivos de pelillo, se ha observado un desplazamiento de la biomasa en el extremo superior hacia la zona media de la cuelga, lo cual puede ser atribuido al oleaje. En la salmonera, en los cultivos ubicados en la bodega y en la cabecera Sur-Este se observan zonas necróticas. En la primera fue producto de que el pañol se enrolló en la línea madre, dejándolas las algas del primer paño y parte del segundo paño en contacto con el agua de lluvia y el exceso de luz. En el segundo caso, se observa en algunas cuelgas con zonas necróticas apicales. Esto puede deberse a que esta línea fue cortada al enredarse un barco que presta servicio en la salmonera, lo que pudo someter a las algas a un estrés, que no pudo ser observado al momento de desenredar y reinstalar los cultivos de esta sección.

Con respecto a Gigartina, los cultivos se observan en buenas condiciones, con muy pocas pérdidas de frondas. Las algas tienen un buen color y sólo algunas algas se encuentran con zonas necróticas (< 5%). Con respecto al tamaño, no se observan diferencias.

Con respecto al *Macrocystis*, en todas las zonas de cultivo se observó que los individuos tienen ápices necróticos o han perdido las frondas. La condición de este cultivo en general no es buena.

Por último, el sector control Iglesia tuvo una profundidad de 8 metros a la hora de la evaluación lo que provoca que los cultivos de *Macrocystis* y *Gigartina* toquen el fondo a la hora de más baja marea. El fondo en esta zona es fangoso y no se observaron herbívoros.

### **Desarrollo por unidad experimental**

El día 22 de octubre del 2015, se realizó una visita a los cultivos iniciados en la localidad de Tenaun con la finalidad de verificar la condición de estos.

#### Esquina Sur-Este

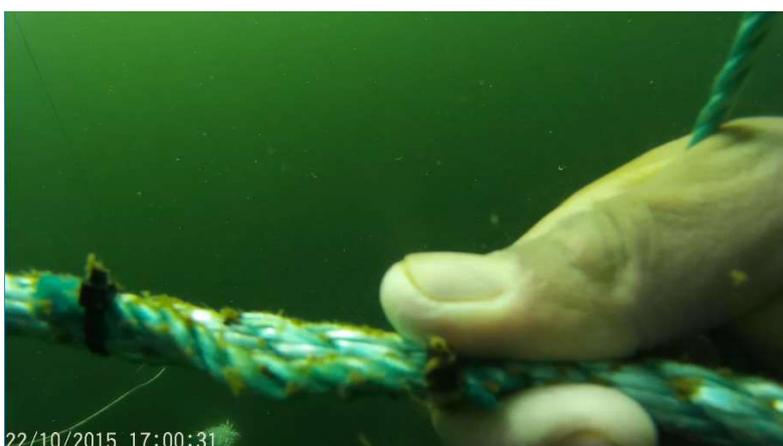
Esta línea fue reparada pues fue cortada al enredarse uno de los barcos que prestan servicio a la salmonera. Debido a la cantidad de cuerda que tensan la red lobera, sólo fue posible instalar 3 paños de pelillo

#### **Gracilaria**

Se observa que talos necróticos, homogéneos en biomasa, pero menos frondosos.



#### **Macrocystis**

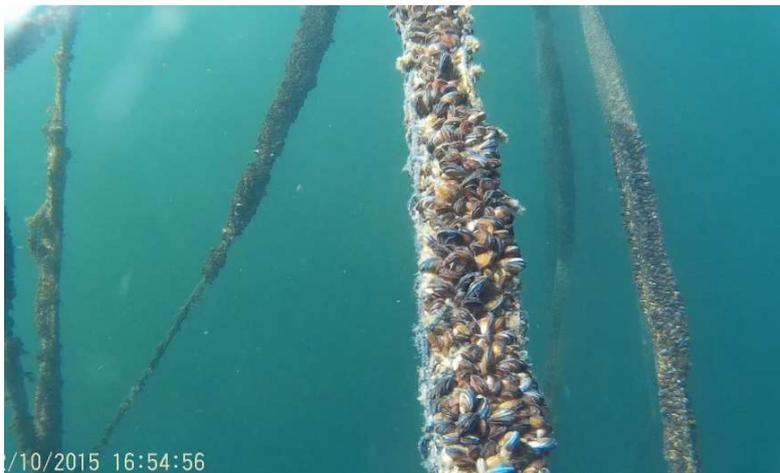


### Gigartina



### Choritos

En este sector se observan grandes





Esquina Sur-Oeste

**Gracilaria**



El pelillo se observa en buena condiciones con claros crecimiento apical, siendo los más largos de 70 cm aprox.



En algunas cuelgas de pelillo se observa un sedimento café, que se desprende al agitarlo. Este sedimento no parece afectar el crecimiento del pelillo.

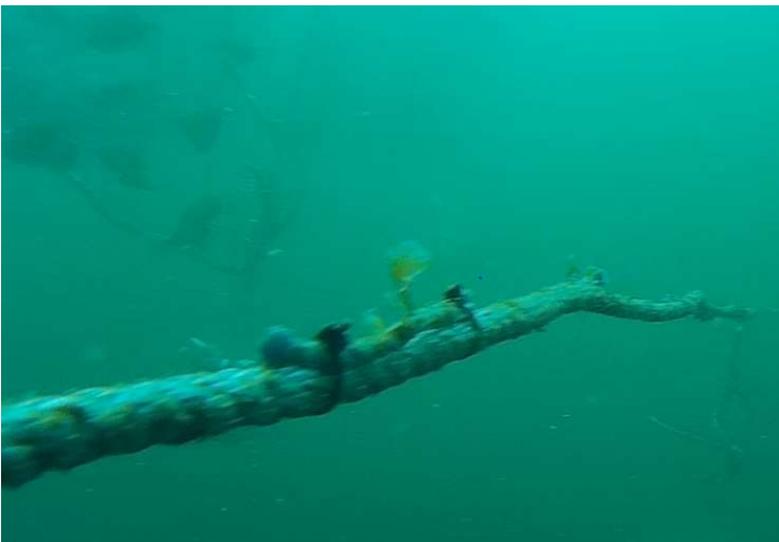


En varias cuerdas se observa que el pelillo se corrió, esto pudo deberse al oleaje.



### **Macrocystis.**

En general no se observan plantas saludables, pues tienen zonas apicales descoloridas.



En algunos casos hubo una perdida completa de la planta.

En el extremo corriente abajo del cultivo, la línea se enrolla en la línea de sujeción.

### **Gigartina**

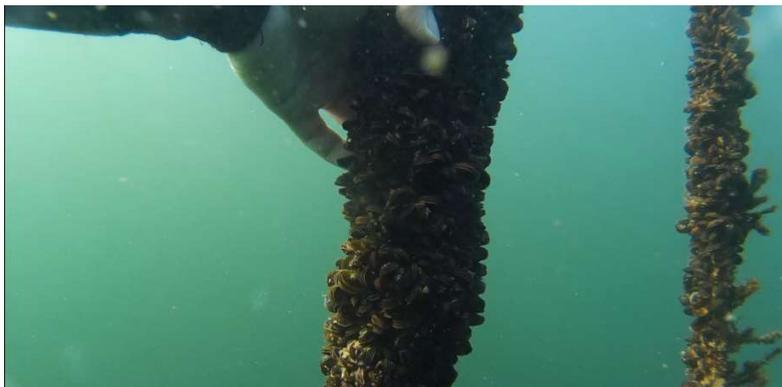
En general, el cultivo se desarrolla dentro de lo esperado, con una mayoría de las frondas en buenas condiciones, es decir sin zonas necróticas.



### **Choritos**

Se observan en buenas condiciones y a simple vista se notan un poco más grande. Los cultivos van desde los 1.5 m. a los 6 m.





### Esquina Norte – Oeste

#### **Gracilaria**

Se observa un crecimiento en el pelillo y ausencia de sedimento sobre los talos.



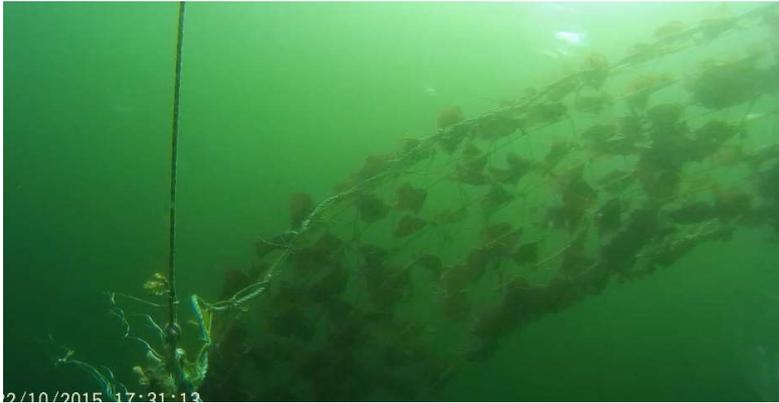
El pelillo se corrió, algunas cuelgas se encuentran enrolladas entre vecinas

#### **Macrocystis**

La primera línea de huiro pasa por una cuelga de pelillo, quedando colgada desde el centro.

#### **Gigartina**

En general, el cultivo se desarrolla dentro de lo esperado, con una mayoría de las frondas en buenas condiciones, es decir sin zonas necróticas.



**Choritos**

Esta línea fue cortada, debido a un enredo de un barco que realiza servicio en la salmonera dejando la mitad de las cuelgas de choritos.



Se observa que las cuerdas de choritos tiene una baja densidad, con pérdidas completa de ejemplares en algunas cuelgas. En cuanto al tamaño a simple vista se observan un poco más pequeños. Los cultivos van desde los 1.0 m. a los 5 m. de profundidad.

#### Esquina Norte Este

#### **Gracilaria**

El pelillo tiene un buen aspecto, parece estar creciendo pero no esta tan largo como las cuelgas de la cabecera sur.



También se observó que en algunas cuelgas se acumula un sedimento blanco. También están más homogéneas en biomasa que las otras cuelgas.





**Gigartina**



### **Macrocystis**

En esta línea se observa que varios ejemplares no presentan frondas.

### **Choritos**

Los cultivos van desde los 2 m. a los 6 m aprox.

Los choritos en general se ven más pequeños.



Dos cuelgas del extremo sur, se encontraban rozando con una de los tirantes de la lopera, lo que arranco todos los ejemplares de choritos.



Bodega

**Gracilaria**

Las paños de cuelgas de pelillo que están junto a la bodega se encuentra necróticos, esto debido a que estuvieron en contacto con agua dulce. Este paño paso por sobre la línea madre.



El segundo pañol de pelillo ha perdido biomasa y varias cuerdas se encuentran enrolladas.





### **Macrocystis**

En general varios individuos han perdido sus frondas y otras tienen las puntas necróticas.



### **Gigartina**

Buenas condiciones

### Miranda

### **Gracilaria**

Las cuelgas de pelillo no se ven tan frondosas como las del centro de salmones, ni tampoco son tan claras las zonas de crecimiento



### **Macrocystis**



### **Gigartina**

Se encuentra en buenas condiciones, sin zonas necróticas.

También, Gigartina se instaló bajo las cuelgas de choritos debido a la falta de espacio, y se consideró que los desechos provenientes de los choritos serían bastante menor que los de los salmones.



### **Choritos**

Se observa que las cuelgas están cubiertas con un barro café, también el día de la evaluación se observó una gran cantidad de fitoplancton entre 0 y 1 metro de profundidad.

### Iglesia

### **Pelillo**

En el paño que esta junto a los choritos, 5 cuelgas de pelillo han perdido toda la biomasa producto del roce.



**Macrocystis**

Ápices necróticos y pérdida de frondas

**Gigartina**

Buenas condiciones

**Choritos**

Se observa que las cuelgas están cubiertas con un barro café.

También el día de la evaluación se observó una gran cantidad de fitoplancton entre 0 y 1 metro de profundidad.





Universidad  
**ARTURO PRAT**  
del Estado de Chile