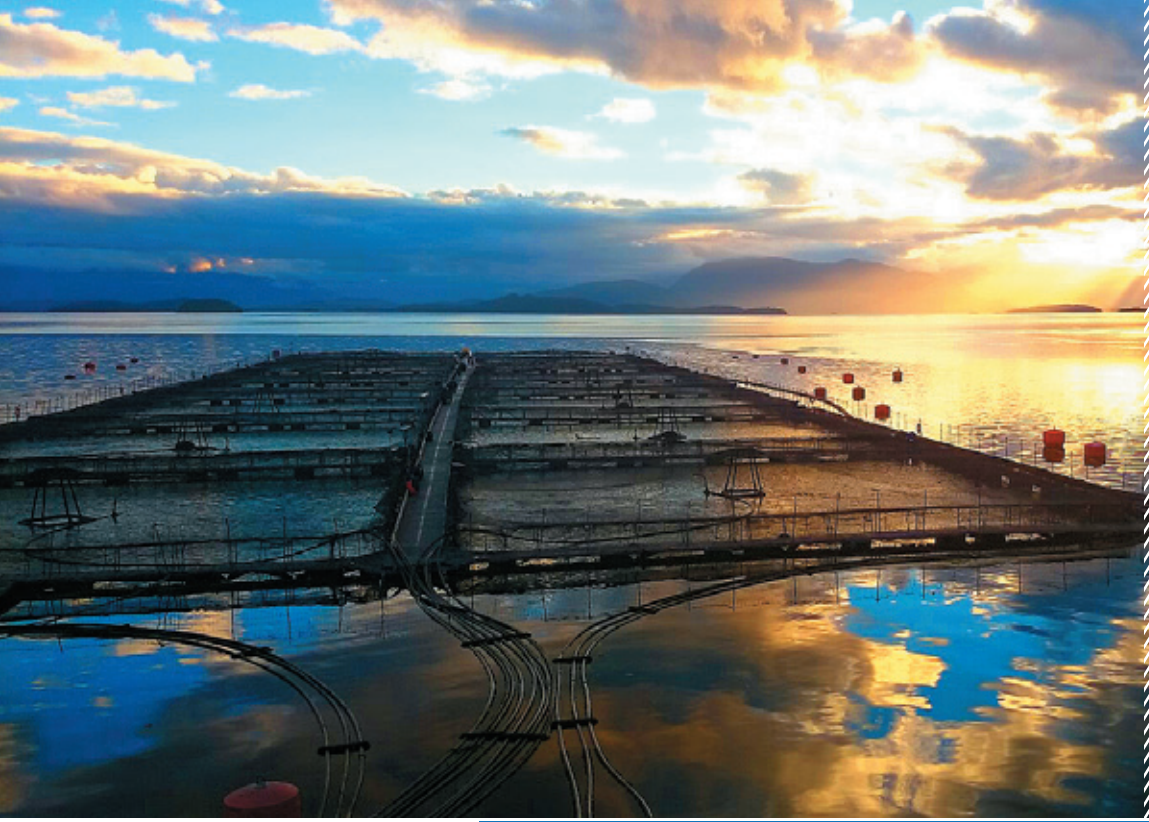


INCAR
Interdisciplinary Center for Aquaculture Research

WWF

Propuesta de evaluación del desempeño ambiental de la salmonicultura Chilena a escala de ecosistemas. Octubre 2020.

Propuesta preparada por: Doris Soto[1], Jorge León-Muñoz[1,2], Yuri Soria-Galvarro[3], Renato Quiñones[1] y Sandra Marin[5] .
[1] INCAR, UDEC, [2] INCAR, UCSC, [3] Surasesorias,[5] UACh, Puerto Montt

Con aportes relevantes de:
Elias Pinilla, Gabriel Soto y colaboradores (Programa CHONOS-IFOP)

Edición: Francisco Morey

Diseño y diagramación: Joaquín Sobell

Este símbolo indica presencia de hipervínculo a documento anexo.

AGRADECIMIENTOS
Esta propuesta se enriqueció significativamente con el aporte de los investigadores y técnicos que hicieron presentaciones en el Taller del 4 y 5 de Julio del 2019 en Puerto Montt, por orden alfabético: Rubén Avendaño (INCAR, UAB), Giovanni Daneri (CIEP), Oscar Espinoza (IFOP), Camila Fernández (INCAR-COPAS SA-IDEAL, UDEC, CNRS), Ana Goncalvez (INCAR), Heraldo Contreras (IFOP), Jorge Leon (INCAR, UCSC), Sandra Marín (IDEAL, UACH), Edwin Niklitschek (ULA), Elias Pinilla (IFOP), Renato Quiñones (INCAR, UDEC), Maritza Sepúlveda (INVASAL, UV), Yuri Soria-Galvarro (INCAR), Doris Soto (INCAR), Gabriel Soto (IFOP), Fabián Tapia (INCAR-COPAS), Eugenio Zamorano (Subsecretaría de Pesca). También se reconoce el relevante aporte de todos los participantes en el taller técnico que contribuyó significativamente a la discusión entorno a las ideas centrales para la propuesta. La propuesta también se mejoró y fortaleció con las intervenciones y sugerencias de los participantes del segundo taller abierto que se realizo el 14 de enero en Puerto Montt.

La construcción participativa de la propuesta fue facilitada por Edgardo Vera y Francisco Morey.
Esta investigación y propuesta se realizó con el apoyo de WWF- Chile y del Centro Interdisciplinario para la investigación Acuícola, INCAR, Centro FONDAP N°15110027, ANID, Chile

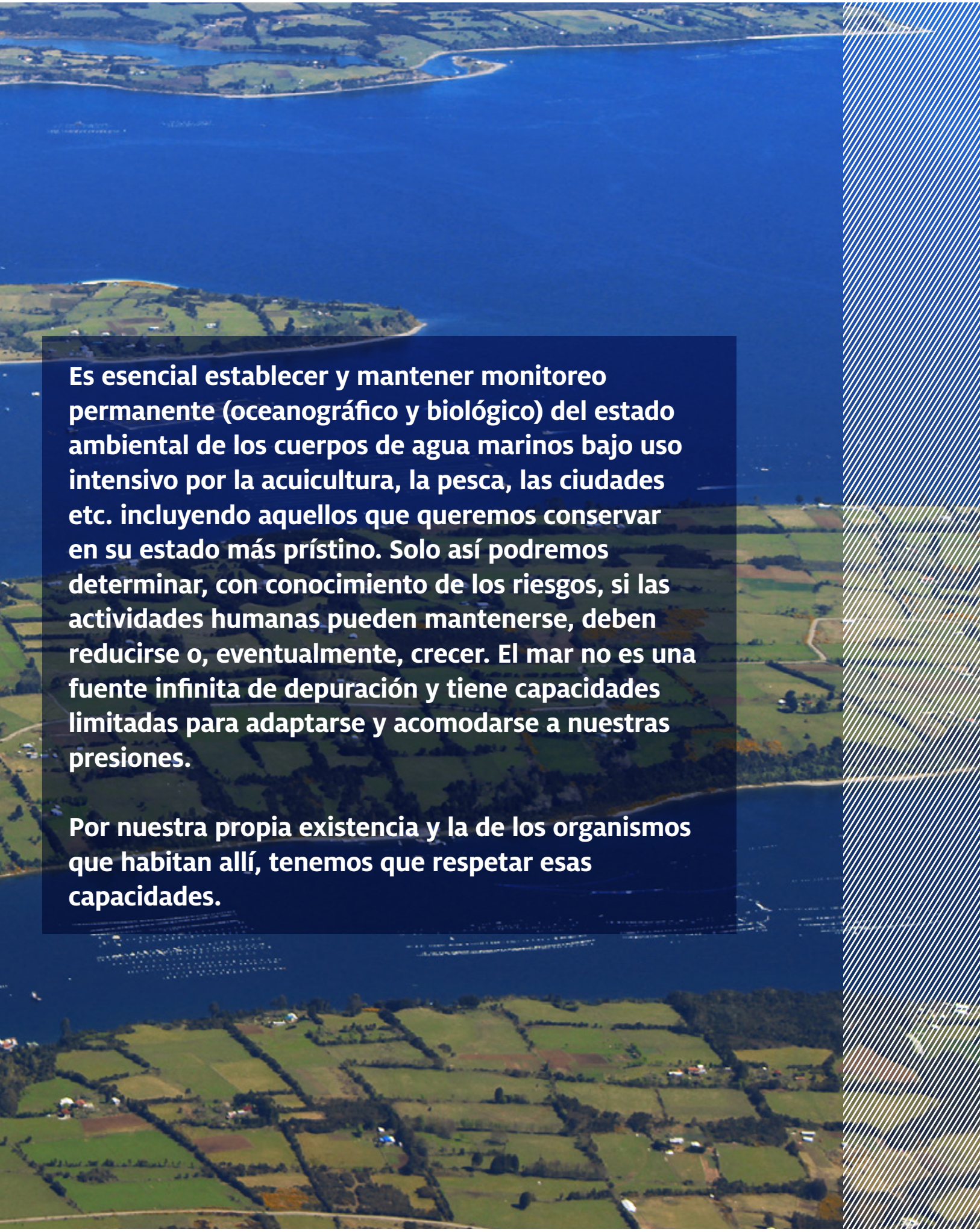
Cómo citar esta publicación:
Soto, D., León-Muñoz, J., Soria-Galvarro, Quiñones, y S. Marin. 2020. Propuesta de evaluación del desempeño ambiental de la salmonicultura Chilena a escala de ecosistemas. Informe científico, Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuícola (INCAR) y WWF Chile. Concepción Octubre 2020

WWF Chile trabaja por la conservación de los ecosistemas en Chile, con especial énfasis en el ámbito marino de la Patagonia, promoviendo la protección y una eficiente gestión del paisaje mediante el trabajo con diferentes actores. En esta misión, la organización de conservación ha identificado como imprescindible el fortalecer el conocimiento científico y la disponibilidad de datos para promover decisiones y políticas públicas basadas en ciencia, que tengan como fin un manejo efectivo a nivel de paisaje. A ello se suma la necesidad de que las actividades productivas que impactan en la biodiversidad y las comunidades del territorio, así como las entidades mandatadas para su monitoreo y control, asuman un enfoque ecosistémico que considere los diversos efectos y variables más allá de los propios centros de cultivo, por ejemplo, en el caso de la salmonicultura. También es necesario avanzar en la protección y manejo efectivo de las áreas protegidas existentes en la zona.

Índice

	Página
1. Antecedentes	**6**
2. Proceso y participación	**8**
3. Resultados esperados	**9**
4. Proceso y aproximación metodológica	**10**
4.1 Convocatoria y proceso	11
4.2 Taller de expertos	11
4.3 Elaboración, discusión y perfeccionamiento de la propuesta	13
4.4 Taller de socialización y discusión de la propuesta	13
5. Propuesta inicial de unidades ecosistémicas relevantes y de indicadores de presión y de estado ambiental del ecosistema	**15**
5.1 Indicadores de presión	15
5.2 Indicadores de respuesta o estado ambiental de los cuerpos de agua	20
5.2.1 Variables/Indicadores de estado ambiental e impacto sobre comunidades /sistema bentónico	20
5.2.2 Indicadores del estado ambiental de la columna de agua	24
5.2.3 Variables e indicadores de impacto de escapes de peces, interacción con mamíferos marinos y de efectos de enfermedades y/o antibióticos	26
5.3 Unidades ecosistémicas o cuerpos de agua relevante (CAR) como unidades de evaluación/gestión, y donde se realiza el monitoreo de los indicadores	29
5.3.1 CARs propuestos	29
5.3.2 Análisis de riesgo semi-cuantitativo para abordar las diferentes amenazas y su potencial impacto en el ecosistema	32
5.3.3 Monitoreo seguimiento y gestión de los CAR	37
6. Conclusiones y recomendaciones para las etapas siguientes	**39**
6.1 Propuestas metodológicas	39
6.2. Propuestas de acciones y decisiones de políticas publicas	39
7. Referencias	**41**

Capacidad de Carga - Chiloé, Región de Los Lagos. Autor: Pablo Carrasco.



Es esencial establecer y mantener monitoreo permanente (oceanográfico y biológico) del estado ambiental de los cuerpos de agua marinos bajo uso intensivo por la acuicultura, la pesca, las ciudades etc. incluyendo aquellos que queremos conservar en su estado más prístino. Solo así podremos determinar, con conocimiento de los riesgos, si las actividades humanas pueden mantenerse, deben reducirse o, eventualmente, crecer. El mar no es una fuente infinita de depuración y tiene capacidades limitadas para adaptarse y acomodarse a nuestras presiones.

Por nuestra propia existencia y la de los organismos que habitan allí, tenemos que respetar esas capacidades.

1. Antecedentes

Las preguntas principales que han motivado esta iniciativa conjunta WWF-INCAR son: ¿Podemos responder con información científica concreta cuál ha sido el impacto ambiental de la salmonicultura a escala nacional, a escala regional, de bahía, fiordo, o ecosistema? ¿Es posible que la capacidad de carga de los mares interiores de la Patagonia Chilena sea suficiente para que la producción actual (aprox 900.000 toneladas en 2019) no genere un daño ambiental significativo?[1].

Si bien se evalúan periódicamente los impactos bajo las jaulas y en el entorno adyacente a las concesiones de cultivo, con muy escasas excepciones (ej. Mayr *et al.*, 2014)[2], se ha evaluado el impacto sobre la productividad de los ecosistemas, la biodiversidad general o los servicios ecosistémicos (¿han disminuido?, ¿han aumentado?, ¿han cambiado?, ¿dónde?). Por ejemplo, no tenemos suficiente información para demostrar científicamente si el cultivo de salmones ha tenido o no un impacto sobre poblaciones de especies objetivo de la pesca artesanal o sobre la producción de mitílidos, ni podemos emitir juicios objetivos y definitivos respecto al posible rol de la salmonicultura como gatillante de floraciones de algas nocivas, o de incremento de poblaciones de lobos marinos, entre otros. Además, la salmonicultura ocurre conjuntamente con otros forzantes cruciales tales como la sobrepesca, el cambio climático, aportes de aguas servidas, etc., por lo cual identificar y separar los efectos de cada forzante presenta enormes desafíos.

La salmonicultura ocurre en dos etapas, agua dulce que ocurre principalmente en pisciculturas en tierra donde se producen ovas y juveniles y la engorda, que ocurre principalmente en sistemas flotantes en el mar. El presente análisis y propuesta se enfoca a esta segunda parte[3].

La actual normativa chilena para la salmonicultura (y la normativa global en general) se basa en regular y controlar la gestión de cada centro de cultivo, principalmente a través del SEIA (Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental) y del RAMA (Reglamento Ambiental para la Acuicultura) para los aspectos ambientales y sociales, y el RESA (Reglamento Sanitario de la Acuicultura) para los aspectos sanitarios. Este último posee un principio de manejo de área productiva bajo el concepto de Agrupación de Concesiones de Salmónidos (ACS) basada en aspectos de bioseguridad y control de enfermedades. Este es un avance en el sentido del manejo espacial de la salmonicultura para reducir riesgos de enfermedades, pero no es suficiente pues esencialmente ignora los aspectos ambientales y sociales a nivel de ecosistema.

Complementariamente, conforme a lo establecido en el Titulo VII de la Ley General de Pesca y Acuicultura, la Subsecretaria elabora el "Programa de Investigación" para la regulación sectorial, el cual comprende investigación, monitoreo y análisis de las condiciones oceanográficas, ambientales y sanitarias apropiadas para el ejercicio sustentable de la acuicultura. Bajo ese principio, la investigación básica o permanente es efectuada por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) y los resultados de la ejecución del programa de investigación pueden servir de base para la fundamentación de las medidas de administración y conservación, así como al proceso de toma de decisiones para la actividad de acuicultura. Existen algunas iniciativas en curso, como el monitoreo ambiental que está realizando IFOP a nivel de bahías y ecosistemas que estaría brindando información para abordar estas brechas pero es insuficiente. Además, uno de los problemas serios que persiste, es que al menos en la Región de Los Lagos no existen prácticamente cuerpos de agua /unidades ecosistémicas sin salmonicultura, lo cual dificulta la atribución de efectos sobre componentes del ecosistema generados por esta actividad productiva.

Objetivo de la iniciativa

En respuesta a la problemática expuesta y a través de una colaboración entre WWF Chile e INCAR se ha desarrollando el proyecto titulado "Desarrollo de indicadores ecosistémicos para el desempeño de la salmonicultura a nivel de paisaje". El proyecto tiene como meta desarrollar una propuesta técnica inicial de indicadores de tipo ecosistémico para el desempeño ambiental de la salmonicultura validada por actores científicos y técnicos claves a nivel local y nacional para luego ser presentada a las autoridades nacionales. Estos indicadores debieran facilitar normativas que regulen la producción máxima por área (idealmente por cuerpo de agua) de acuerdo a la capacidad de carga ecológica, reconociendo que la estimación efectiva de la capacidad de carga puede ser muy compleja y que no podemos esperar a tener y aplicar modelos de alta complejidad que se consideren óptimos, resultando necesario establecer medidas precautorias.

[1] Quiñones *et al.*, (2019) Environmental issues in Chilean salmon farming: a review. Reviews in Aquaculture 11: 375-402. doi: 10.1111/raq.12337 (https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/raq.12337)
[2] Mayr *et al.*, (2014) Responses of nitrogen and carbon deposition rates in Comau Fjord (42°S, southern Chile) to natural and anthropogenic impacts during the last century. Continental Shelf Research 78: 29–38.
[3] La fase de agua dulce de la salmonicultura también requiere ser abordada en forma integral https://www.incar.cl/wp-content/uploads/2020/12/Policy-Brief-8-Pisciculturas.pdf

La propuesta tiene un origen esencialmente en la discusión científica y uso de la información disponible y haciendo referencia a la normativa vigente.

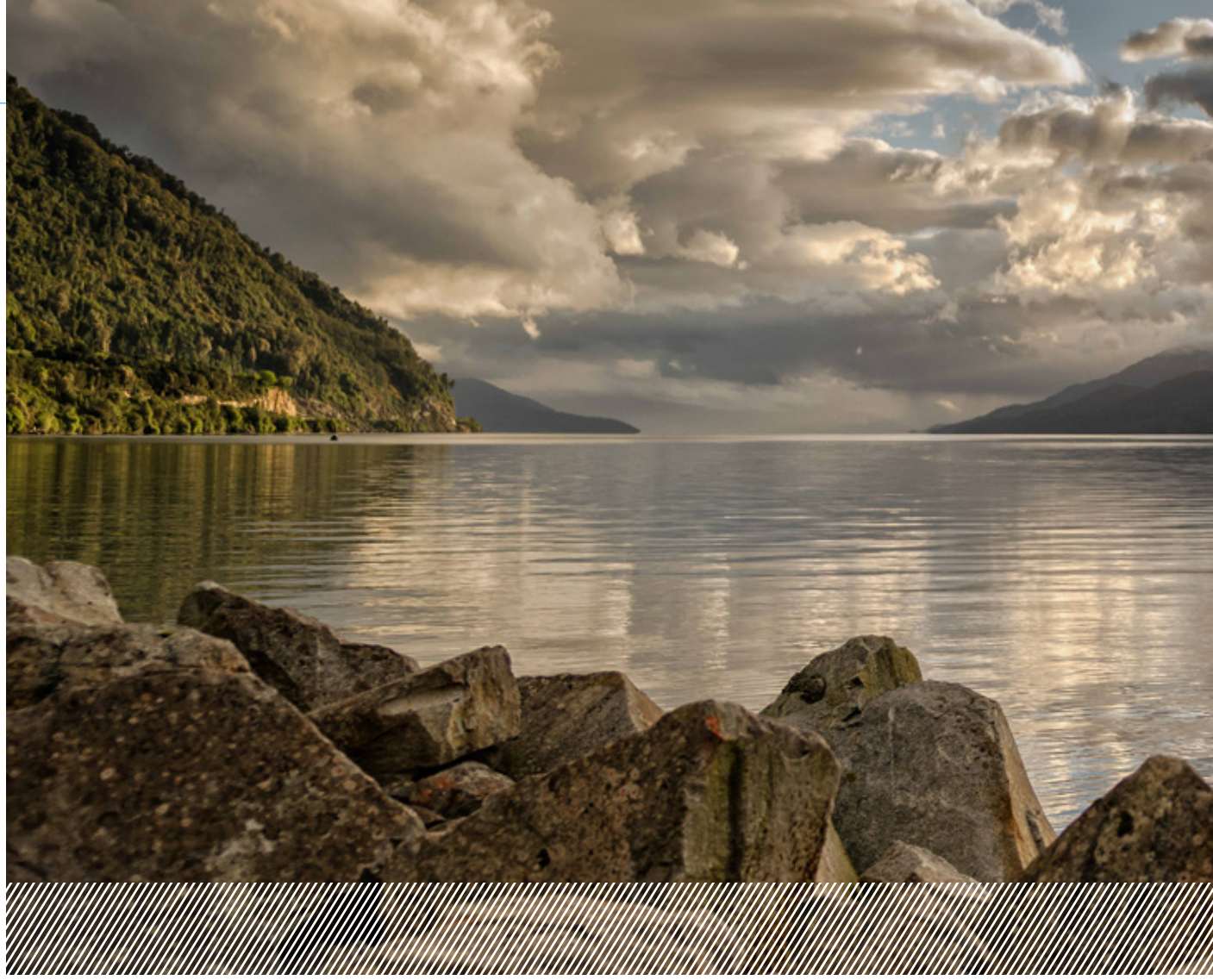
Al mismo tiempo, se espera que esta propuesta contribuya a un ajuste del marco normativo del actual sistema de control y manejo de centros salmonicultores y de Agrupación de Concesiones de Salmonicultura (ACS), hacia un sistema basado en la concepción de capacidad de carga para áreas de manejo acuícola (Area-Based Management System, "ABMS" o Áreas de Manejo Acuícola "AMAs"). El concepto se ajusta a las definiciones propuestas por FAO[4] y que aborda la gestión de unidades ecosistémicas relevantes, para así facilitar la implementación del Enfoque Ecosistémico de la Acuicultura (EAA por sus siglas en inglés) en el paisaje del sur de Chile. La propuesta de indicadores ecosistémicos a nivel de AMAs **o de unidades ecosistémicas relevantes** permitiría también abrir un espacio de intercambio entre los actores, mejorando el conocimiento público y la percepción de la ciudadanía sobre el desempeño ambiental y social del sector. Una normativa de este tipo, acompañada de los monitoreos y seguimientos correspondientes, es urgente en la Región de Magallanes donde la salmonicultura es aún incipiente y donde sería posible evaluar "un antes y un después", entendiendo que la decisión para el eventual desarrollo de la salmonicultura debe considerar también la opinión local.

Finalmente, si bien la propuesta se centra en indicadores ambientales, también es necesario estimar los impactos sociales a nivel de unidades ecosistémicas o quizá de áreas geográficas mayores como comunas y regiones, puesto que la existencia de impactos ambientales negativos que no se compensen con beneficios sociales conmensurados y niveles aceptables de equidad debería ser justificación para terminar con cualquier uso productivo de recursos naturales. En consecuencia, los aspectos sociales se podrían considerar, esencialmente en relación a la valoración social de lo que queremos conservar.

Finalmente, destacamos que la generación de la presente propuesta es resultado de la colaboración de actores claves y Centros de investigación de referencia, ejercicio liderado por el Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuícola (INCAR; FONDAP-CONICYT), a través de la coordinación de la Dra. Doris Soto, Investigadora Principal INCAR.

Centros de cultivo en Chiloé. Autor: Centro INCAR.

[4] http://www.fao.org/3/I6834ES/i6834es.pdf "Áreas de manejo o gestión acuícola (AMAs): abarcan varios centros de cultivo individuales que comparten un ecosistema y/o unidad de paisaje y/o fuente común de agua y/o se encuentran en tal posición y/o proximidad que las enfermedades y la calidad del agua y condición del ecosistema natural y social se gestionan mejor de manera colectiva que de manera individual por centro. Las AMAs se definen como cuerpos de agua compartidos, o partes de ellos, en donde todos los operadores acuícolas implementan (por normativa y/o por cooperación) ciertas prácticas de gestión o códigos de conducta que minimicen los impactos generales y acumulativos de sus actividades colectivas". La gestión de un AMA y su efecto sobre el ecosistema se monitorea apropiadamente.



2. Proceso y participación

El proceso para la elaboración se planificó en 3 etapas:

ELABORACIÓN Y DISCUSIÓN de una base de indicadores y unidades ecosistémicas, los cuales han sido evaluados a través de un proceso con fuerte participación y aporte científico y conocimiento de campo.

VALIDACIÓN DE LOS INDICADORES Y UNIDADES ECOSISTÉMICAS a través de actividades participativas con los usuarios y sectores relevantes involucrados de la sociedad, de la industria, de la ciencia, del Estado, de las comunidades, etc.

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN, normativa monitoreo a ser discutido en actividades participativas y con las entidades relevantes.

Brujo Patagón (seudónimo) - "Tarde en el fiordo Puyuhuapi" - Imagen concurso fotográfico INCAR "Salmonicultura en Aysén", año 2015.

3. Resultados esperados

INFORME CON UNA PROPUESTA DE INDICADORES para evaluar el desempeño ambiental de la salmonicultura a nivel de paisaje o ecosistema, para ser entregado a las autoridades, sector privado, y sociedad en general. Ello requiere también definir/ proponer unidades ecosistémicas donde se utilizarán/evaluarán los indicadores.

UN RESUMEN CON LAS RECOMENDACIONES emanadas del informe que sean relevantes para las políticas públicas.

MANUSCRITOS PARA UNA PUBLICACIÓN EN UNA REVISTA científica o libro sobre indicadores para el desempeño ambiental del cultivo de peces a nivel de paisaje o ecosistema.

4. Proceso y aproximación metodológica

La actividad se desarrolló en las etapas que se describen a continuación:

a) Invitación a centros de investigación y entidades relevantes que podrían aportar con el diseño y selección de indicadores y de las unidades ecosistémicas a considerar.

b) Realización de un taller de expertos, donde se discutiese una gama de indicadores y seleccionando un subconjunto manejable.

c) Preparación de un primer documento borrador de propuesta de indicadores y unidades ecosistémicas relevantes validados por los científicos y el conocimiento técnico.

d) Socialización y discusión del documento en un taller participativo que tuvo lugar en Puerto Montt el 14 de enero del 2020.

e) Producción de un documento como propuesta final después de iteraciones de revisión y mejoramiento.

Para facilitar la generación de los productos y especialmente durante la discusión en el taller descrito en el punto (b), se diseñó una propuesta de criterios para definir unidades ecosistémicas y listado inicial de indicadores posibles los que se detallan en los recuadros 1 y 2 respectivamente:

Recuadro 1. Criterios propuestos para designar unidades ecosistémicas relevantes e indicadores

CRITERIOS PARA DESIGNAR UNIDADES ECOSISTÉMICAS RELEVANTES	CRITERIOS PROPUESTOS PARA SELECCIONAR INDICADORES DE LA CONDICION AMBIENTAL DE ECOSISTEMAS USADOS POR LA SALMONICULTURA
• Algún grado de acotamiento o borde que sugiera retención y/o intercambio de masas de agua, elementos, partículas, individuos, que permita una clasificación preliminar de unidades (ej. mayor intercambio, medio, bajo etc.).	• Debe proporcionar información integradora/ o representativa de la/las condiciones ambientales que queremos conservar. • Debe posibilitar establecer valores críticos en relación a la capacidad de carga o nivel crítico de cambio del sistema a nivel de paisaje o unidad ecosistémica (ej. fiordo, canal, bahía, seno, etc.). • Debe ser posible medirlo en áreas (unidades ecosistémicas) con salmones y sin salmones. • Debe ser relativamente simple de medir y validar (estandarización posible). • Debe estar respaldado por información abierta, comprobable.

Recuadro 2. Ejemplos de variables potencialmente críticas para la generación de indicadores ambientales a nivel de ecosistema

Se identifican y destacan variables de presión desde el sistema salmonicultor (Pr) y variables de respuesta (Re) del ecosistema natural.

- **Carga de nutrientes por área/sector (Pr)**
  - · Balance de nutrientes por área en profundidad integrado (ej. N/P) (Re)
  - · Niveles de clorofila integrados espacialmente (Re)
  - · Oxigeno superficial/ en profundidad (integrado) (Re)
  - · Tasas de sedimentación de material particulado (Re)

- **Uso Antibióticos y pesticidas por área/sector (Pr)**
  - · Presencia de bacterias con resistencia a antibióticos (Re)
  - · Presencia de residuos de pesticidas en fauna nativa (Re)

- **Frecuencia y magnitud de escapes de salmonídeos por área/sector (Pr)**
  - · Frecuencia y abundancia de salmonídeos escapados (en vida libre) (Re),
  - · Frecuencia y abundancia de retornos reproductivos (Re)

- **Frecuencia y magnitud enfermedades en centros por área/sector (Pr)**
  - · Presencia y carga de enfermedades y parásitos característicos de la salmonicultura en fauna nativa. (Re)

- **Especies y/o aspectos estructurales de las comunidades como indicadores de estado y respuesta del ecosistema a presiones individuales y acumulativas (Re)**
  - · Aspectos de la composición y estructura de los ecosistemas bentónicos (ej. especies clave del macrobentos en fondos duros, como corales, bancos de bivalvos, y agrupaciones faunísticas características de fondos blandos, índice AMBI, etc.)
  - · Comunidades bacterianas relevantes para procesos esenciales del ecosistema (ie. Secuestro de carbono, producción de oxigeno)
  - · Diversidad íctica
  - · Productividad de ciertas especies de peces representativos (sardinas, robalos, otros)
  - · Especies/grupos de fito y/o zooplancton
  - · Abundancia de lobos marinos
  - · Aspectos del paisaje (basura, impacto percepción etc.)
  - · otros

Así, se pueden generar indicadores que combinen presión y respuesta.

4.1 Convocatoria y proceso

A fines de mayo del 2019, se extendió una invitación a investigadores de los principales centros e instituciones de investigación Chilenos que han estado trabajando en aspectos oceanográficos, ecológicos y biológicos relacionados con los potenciales impactos ambientales de la salmonicultura y se realizó una propuesta de temáticas iniciales para la realización de un taller de expertos, con el principal objetivo de discutir variables y aproximaciones que permitieran identificar indicadores de impactos ecosistémicos de la salmonicultura.

4.2 Taller de expertos

Los días 4 y 5 de julio de 2019, se realizó un taller en la ciudad de Puerto Montt al cual se invitó 40 científicos y expertos nacionales de relevante trayectoria y con una reconocida experiencia en la investigación y gestión ambiental de la acuicultura, particularmente la salmonicultura.

El principal objetivo del taller fue: examinar en forma conjunta una serie de variables ambientales que puedan facilitar y/o constituir una propuesta técnica inicial para evaluar y gestionar los potenciales impactos de la salmonicultura a nivel de ecosistema en los mares interiores de Chile. Idealmente los indicadores propuestos debieran permitir normar la producción máxima por área/unidad de paisaje de acuerdo a la capacidad de carga ecológica, reconociendo que la estimación efectiva de la capacidad

Mas de 30 investigadores participaron del taller de dos días, para la identificación de Indicadores Ecosistémicos para los Impactos Ambientales de la Salmonicultura. Esta actividad se desarrolló en Puerto Montt, los días 4 y 5 de Julio de 2019.
Foto: Edgardo Vera, Centro INCAR.

Para la identificación de los indicadores, la propuesta metodológica incluyó un intenso trabajo en grupos integrados por especialistas.
Foto: Edgardo Vera, Centro INCAR.

Investigadores de INCAR y otras instituciones involucradas en la iniciativa presentan la propuesta a diferentes grupos de interesados del sector, en un taller participativo abierto. Universidad Austral de Chile, Campus Puerto Montt, 14 de enero de 2020.
Foto: Edgardo Vera, Centro INCAR.

de carga puede ser muy compleja y que no podemos esperar a construir y aplicar modelos que se consideren adecuados, resultando necesario establecer medidas precautorias. Para implementar la evaluación de estas variables o indicadores, es necesario acordar también las unidades ecosistémicas en las cuales se van a medir. Esta definición fue otro objetivo importante del taller.

El taller tuvo una convocatoria excepcional reuniendo a expertos provenientes de las instituciones nacionales de investigación más importantes en la materia incluyendo INCAR, IFOP, COPAS Sur-Austral, CIEP, IDEAL, INVASAL, Universidad de Concepción, Universidad Austral de Chile, Universidad de Los Lagos, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Universidad Andrés Bello, Universidad de Valparaíso. Además, participaron expertos de la empresa privada como Plancton Andino, INTESAL, de varias empresas salmoneras y representantes de los co-convocantes WWF. La reunión también contó con la participación de expertos del sector público relacionados al tema como Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA), Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA), y el Ministerio de Medio Ambiente. Los expertos abarcaron y cubrieron información relacionada con potenciales impactos de la salmonicultura incluyendo oceanografía costera, modelamiento, biogeoquímica del bentos, de las comunidades pelágicas, peces, productividad, fitoplancton y mareas rojas, impactos relacionados con aportes de nutrientes, uso de antibióticos, uso de pesticidas y otros químicos, enfermedades (ej. Septicemia Rickettsial Salmonídea (SRS); caligidosis), efecto de los peces escapados sobre el ecosistema, etc.

El taller consistió en ocho paneles con dos o tres presentaciones muy cortas. La agenda del taller se incluye en el Anexo 1. Los paneles fueron los siguientes:

i. Distribución actual y potencial de la producción de salmones como indicador de presión
ii. Definiciones de borde: ¿cuáles serían las unidades ecosistémicas relevantes? ¿Y dónde monitorear?
iii. Variables/Indicadores de impacto comunidades /sistema bentónico
iv. Variables/Indicadores de impacto columna de agua (oxigeno, clorofila, productividad, nutrientes etc.), tasas de renovación
v. Variables/ indicadores en la trama trófica pelágica (peces, zooplancton, fitoplancton)
vi. Variables relevantes en las comunidades microbianas
vii. Indicadores de presencia y/o efectos de enfermedades, parásitos e indicadores de uso e impacto de antibióticos y pesticidas en la fauna nativa
viii. Variables/indicadores impactos de escapes e interacción con fauna silvestre

Para facilitar el intercambio de ideas, los participantes tenían que juzgar la calidad de las propuestas de acuerdo a una planilla con diversas categorías de evaluación en relación a los criterios propuestos (Recuadros 1 y 2 este documento).

El juicio de los participantes en relación a las propuestas se observa en las tablas 1 y 2 (Anexo 2).

Finalmente, y luego de realizar un análisis rápido de la evaluación de los participantes a las diferentes propuestas, estos se organizaron en grupos de trabajo atendiendo a las variables y aspectos juzgados inicialmente como más promisorios para constituirse en propuestas concretas.

Grupo de trabajo 1. Unidades ecosistémicas relevantes.

Grupo de trabajo 2. Indicadores de estado ambiental de comunidades de fondos blandos para evaluar im- pactos de la salmonicultura y de otros forzantes potenciales.

Grupo de trabajo 3. Indicadores de estado ambiental de la calidad de la columna de agua para evaluar impactos por el ingreso de nutrientes desde la salmonicultura (y otros forzantes potenciales).

Grupo de trabajo 4. Indicadores de impacto del uso de antimicrobianos y pesticidas.

Grupo de trabajo 5. Indicadores de impacto de los escapes de salmoníndeos.

4.3 Elaboración, discusión y perfeccionamiento de la propuesta

Entre el 10 de julio y el 30 de septiembre, el equipo INCAR trabajó en la elaboración de la propuesta con los aportes del taller y a través de un proceso iterativo de discusión e intercambio de ideas con los participantes del taller, con otros investigadores y otros sectores interesados relevantes, incluyendo instituciones estatales.

4.4 Taller de socialización y discusión de la propuesta

El 14 de enero del 2020 se realizó un taller ampliado abierto en el Aula Magna de la Universidad Austral de Chile en Puerto Montt, con 61 participantes, donde diversos investigadores que habían contribuido a la propuesta presentaron un resumen de la misma, mas una serie de recomendaciones.

Río Puelo. Autora: Doris Soto.

5. Propuesta inicial de unidades ecosistémicas relevantes y de indicadores de presión y de estado ambiental del ecosistema

La propuesta siguiente se basa en las discusiones y elaboraciones del equipo técnico INCAR y los aportes de las discusiones y propuestas del taller de expertos.

5.1 Indicadores de presión

Distribución de la producción actual y proyectada de salmones como indicadores de presión.

La producción total de salmonídeos se incrementó desde alrededor de 600 mil toneladas en el 2007 a 840 mil toneladas en el 2018, con una caída importante entre el 2009 y el 2010 debido a la epidemia ISA. La producción en su etapa de engorda se lleva a cabo en centros de mar en las regiones de los Lagos, Aysén y Magallanes (Figura 1).

En los últimos años la producción (biomasa cosechada) ha incrementado principalmente en la Región de Aysén y algo en la Región de Magallanes (Figura 2). El área total concesionada para salmones en las regiones de Los lagos, Aysén y Magallanes es de 15.119 ha, es decir 151,2 km^2, de los cuales existen en uso en un momento del tiempo más o menos un tercio, no obstante lo anterior, todas las concesiones o la mayoría se han utilizado en algún periodo. Es decir, el área total de las concesiones salmoneras en las tres regiones del sur de Chile es un poco menor que el área total del Estuario de Reloncaví (171,34 km^2). Esta información indica que los impactos ambientales tal como se han medido hasta ahora, en general no superan una extensión comparable al mencionado estuario. Sin embargo, no conocemos realmente el efecto de esta actividad productiva a nivel ecosistémico, el que puede ir más allá de las áreas de las concesiones, como podría ocurrir por ejemplo con los salmones escapados.

Figura 1. Áreas de cultivo de salmonídeos en la etapa de engorda. Con colores se señala la biomasa cosechada (toneladas promedio 2017-2018) por agrupación de concesión de salmonídeos (ACS)

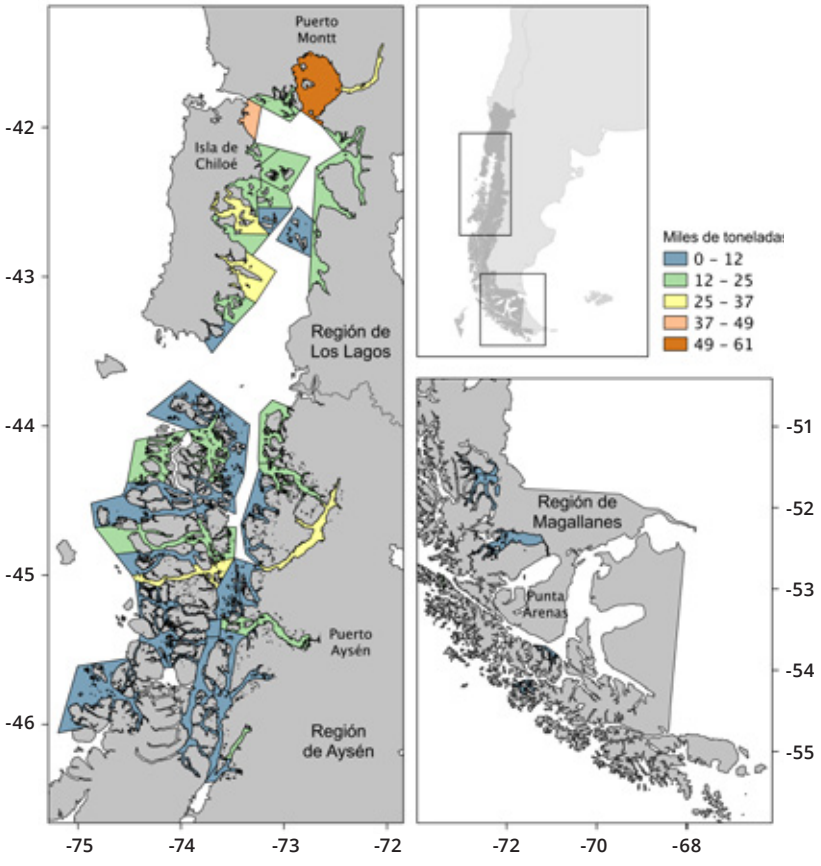
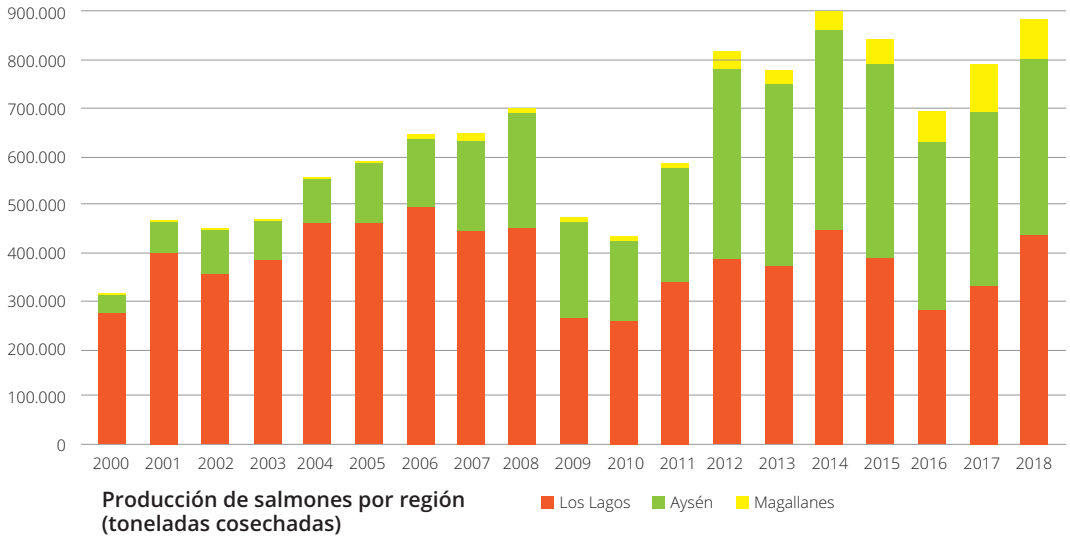


Figura 2. Variación de la cosecha de salmones en el tiempo por región



Por otra parte, un 47,6% del área concesionada está en la Región de Los Lagos, mientras 38,9 % y 13,5 % se ubica en las regiones de Aysén y Magallanes, respectivamente. En todo momento operan entre 300 a 400 concesiones de un total de aproximadamente 1400 y si bien el número de concesiones podría disminuir, el área total concesionada posiblemente se mantendrá estable (151 km^2).

Probablemente en los próximos 2 años, al menos, la producción se mantendrá alrededor de las 800 mil toneladas debido a la aplicación del Reglamento de Densidades (RD). Solo en la Región de Magallanes se estaría generando un aumento (app. 40.000 ton más) por la aplicación escalonada del RD. Por otra parte, la producción históricamente concentrada especialmente en la parte centro-norte de la Región de Los lagos podría tender a moverse a otras ACS por la aplicación del RD.

El análisis de **la biomasa o producción** acumulada por área relevante (área de efecto estimado por ACS) entre el 2000 y el 2018[5] muestra patrones significativos y sugieren que **esta "carga por área" podría ser usada como indicador de presión sobre el ecosistema** para abordar distintos impactos potenciales, tales como eutroficación y aquellos relacionados con uso de antibióticos, pesticidas, interferencia con la fauna, etc. Es importante destacar como aspecto metodológico, que la información que se usa es una aproximación a la biomasa total producida (Fig. 3) ya que corresponde a la información sobre "cosechas" anuales proporcionada por SERNAPESCA. Por ello, en algunos casos podría ser una subestimación, por ejemplo, cuando hubo mortalidades importantes durante algunos ciclos productivos.

A partir de la biomasa o producción acumulada, se **puede estimar la carga total de nitrógeno que ha ingresado al ecosistema por área para las distintas ACS, que en este caso utilizamos también como indicador de presión,** para abordar impactos más específicos como la eutroficación del ecosistema bentónico. Nuestra estimación indica que las cargas mayores acumuladas estarían en el Estuario de Reloncaví, cuerpo de agua que ha contenido la mayor concentración acumulada de la producción (ACS 1) y donde en el periodo de tiempo mencionado se habrían generado más de 220 toneladas de nitrógeno/km2 (Fig. 2). Le siguen en importancia, en cuanto a presión o carga de producción, el Sector Maillén frente a Calbuco (ASC 3b), Hornopirén –isla Llancahue (ACS 17b) y en un grado algo menor los sectores Quemchi y (ACS7), y Quetalco-Dalcahue en el mar interior de Chiloé Norte (ACS 9a).

El análisis revela también que la mayor concentración acumulada de producción ha ocurrido en la Región de Los Lagos (Fig. 2). En cambio, en la Región de Aysén la producción está más repartida en el espacio, en un número mayor de ACSs y además dado que la producción es más reciente allí, los valores son comparativamente menores que en Los Lagos. En la Región de Aysén destacan la mayor carga acumulada del Fiordo Puyu-

[5] Información proporcionada por SERNAPESCA.

Centros de cultivo en Estuario de Reloncaví. Autora: Doris Soto.

huapi (ACS 32) y el Fiordo Aysén (ACS 28b), que corresponden también a las áreas más antiguas de cultivo en esta región. La carga de nitrógeno total que ingresa al ecosistema (Wang *et al.,* 2012)[6] podría también separase en Nitrógeno particulado, es decir materia orgánica que se deposita en los sedimentos bajo las jaulas o en otro lugar y aquella que queda disuelta en la columna de agua. Por ahora se considera el N total como un factor de riesgo de eutroficación general.

Otra conclusión importante es que obviamente las áreas (y cuerpos de agua bajo ellas) que han recibido mayor carga de producción no solo son aquellas más antiguas, sino también aquellas áreas más conectadas a las vías de acceso a los centros urbanos. Cabe destacar que por esa misma razón, estas ACSs además tendrían otras fuentes de ingreso de nutrientes como es el caso de las aguas servidas de Puerto Montt en la ACS 2. También, las áreas que han tenido la mayor concentración de producción en la Región de Los Lagos comparten el desarrollo masivo de la mitilicultura. Por ello es relevante considerar estos forzantes ajenos a la salmonicultura en nuestros análisis.

La mayor concentración de la producción posiblemente ha sido también la principal causa de la aparición y dispersión de enfermedades, por lo que no es sorprendente que la ACS 1 haya tenido tempranamente un alto nivel de riesgo sanitario. Esta y las razones impuestas por el nuevo reglamento de densidades (RD), no obliga, pero si incentiva a la industria, como ya se señaló, a moverse hacia el sur a áreas menos utilizadas y más remotas.

La concentración de la producción acumulada por área como un indicador de presión, puede ser relevante para explicar impactos ambientales en el bentos y en la columna de agua, tales como anoxia, signos de eutroficación y pérdida de biodiversidad

[6] La estimación se realiza en base a factores ya medidos y publicados que determinan con bastante certeza la cantidad de nitrógeno, fosforo y carbono que queda en el ambiente por cada toneladas de salmon producido. El aporte de nitrógeno proveniente de la salmonicultura por comuna en Chile fue reportado por Quiñones *et al*., (2019). Además, se han realizado estimaciones muy buenas del aporte de nutrientes para el cultivo de salmón del Atlántico en Noruega (Wang *et al.,* 2012).

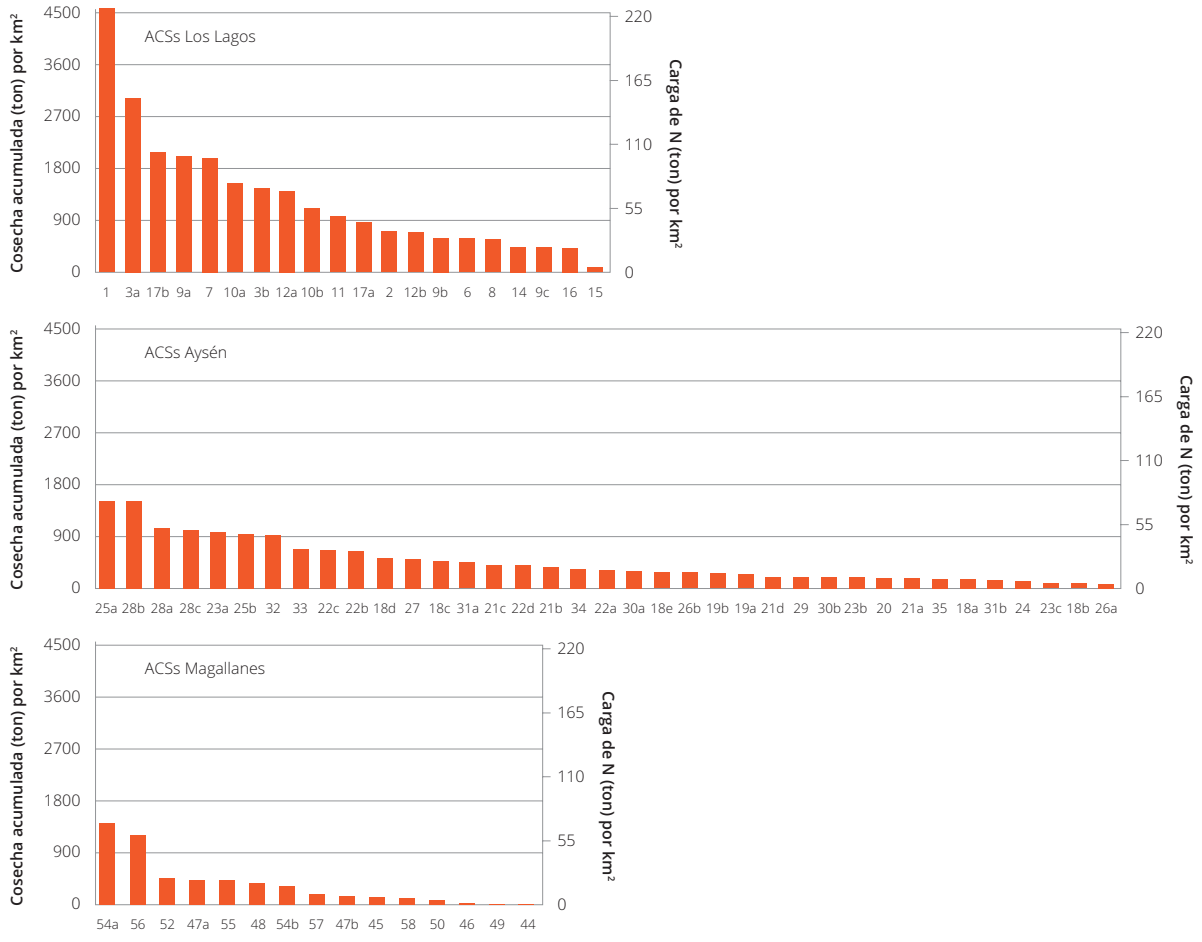
que podrían usarse efectivamente a nivel de unidad ecosistémica relevante, pudiendo ser esta el barrio o ACS u otra más significativa desde la perspectiva oceanográfica como el fiordo, canal, bahía, o cuerpo de agua relevante, como se indicará más adelante.

La concentración acumulada de la producción también es un buen proxi para estimar riesgos potenciales ante el cambio climático (Soto *et al.,* 2019), particularmente aquellos relacionados con incrementos de eventos de anoxia y FANs.

Se considera que la producción acumulada por área puede ser un buen indicador de presión para efectos relacionados con ingresos de nutrientes a fondos y al ambiente pelágico. En tanto, sería necesario usar complementaria o alternativamente el número de peces por área para dar cuenta de efectos relacionados con mitigación de enfermedades y parásitos, así como también aquellos relacionados con escapes de peces. Adicionalmente es necesario usar la información actualizada, usualmente del último ciclo de biomasa por área o número de peces por área relevante para estimar impactos relacionados con enfermedades, uso de antibióticos y pesticidas. Esto porque con el nuevo reglamento de densidades (RD), la ubicación espacial y concentración de la producción puede ser bastante variable.

El nuevo RD, propone un nuevo modelo productivo tras la crisis del ISA por el cual deben coordinarse, por motivos sanitarios y/o ambientales, las operaciones de los centros de cultivo integrantes de una misma agrupación de concesiones (ACSs o "barrios"). La coordinación se refiere principalmente al momento de siembra y cosecha de los centros, seguido de un periodo de descanso (paralización de operaciones) para eliminar patógenos que hayan podido quedar circundando en el sector y, al mismo tiempo, permitir que se recuperen los fondos marinos.

Figura 3. Cosecha acumulada (como proxi de la biomasa o producción) en toneladas (2000-2018) por km2 de área relevante (ACS) (eje izquierdo) y carga acumulada de nitrógeno total en toneladas por km2 (eje derecho) proveniente de la actividad salmonicultora. Las ACS están ordenadas de mayor a menor carga acumulada por región). Información elaborada a partir de datos de SERNAPESCA solicitados por el mecanismo Ley de Transparencia



La nueva normativa permite fijar la densidad de cultivo y un número máximo de peces por centro de cultivo y por ACS, el cual se estima considerando los antecedentes sanitarios (enfermedades y mortalidad) en el periodo anterior, más el número de INFAs[7] negativas, más las proyecciones de siembra de centros individuales. Mientras más alto sea el porcentaje de ejemplares perdidos, el número de INFAs anaeróbicas y mayor sea la intensión de siembra, menor es la densidad de cultivo permitida para el próximo período. Mientras más baja es la densidad de cultivo es más caro operar, lo que es un desincentivo para que las empresas proyecten crecimientos no sustentados en un buen desempeño sanitario y ambiental.

Tabla 1. Indicadores de presión de potencial utilidad en la evaluación de riesgo y estimación de alcance de capacidad de carga frente a diferentes amenazas. La calidad del indicador se evaluó durante el taller de expertos en base al cumplimiento de ciertos criterios con un puntaje de 1 a 5 donde 1 = ausencia o nulo; 2= escasamente, 3= regular, 4= adecuado y 5 = perfecto cumplimiento del criterio. Los valores representan el promedio redondeado de 20 a 25 evaluadores expertos.

Indicador de presión para	Variable o indicador	Proporciona información integradora/ o representativa	Posibilita establecer valores críticos	Permite comparar áreas con diferente nivel de "uso"	Simple de medir, validar y estandarizar	Respaldada por información abierta, comprobable	Calidad del indicador (Promedio)
Riesgo eutroficación, FANs, etc. (nutrientes)	Biomasa acumulada/ área (ACS[8])	4	4	5	5	4	4,4 (muy buen indicador, medible)
	Biomasa y numero / área (ACS) último ciclo	3	3	4	5	3	3,6 (Bueno pero no suficiente en largo plazo)
Riesgo generación de RAM[9]	Antibióticos acumulado/área (ACS)	3	2	4	5	2	3,2 (adecuado pero no aborda ciertos criterios, falta información y conocimiento)
	Antibiótico /Área ciclo productivo más reciente	4	3	5	5	2	3,8 (Bueno si bien adolece de falta de información y conocimiento)
Riesgo diseminación de enfermedades y plagas	Presencia y prevalencia enfermedad/es /área Histórico	3,5	2	3	2	1	2,3 (deficiente, falta información)
	Presencia y prevalencia enfermedad/es /área ciclo productivo reciente	4	2	3	2	2	2,6 (deficiente, falta información)
	Presencia y prevalencia Caligus /área Histórico	2	2	4	3	3	2,8 (deficiente, falta información)
	Presencia y prevalencia Caligus /área reciente	3	4	4	3	2	3,2 (adecuado si mejora información)
Riesgos a tramas tróficas por escapes y colonización especies exótica	Biomasa acumulada/área (ACS)	3	2	4	5	4	3,6 (Bueno, si bien no hay valores críticos)
	Escapes acumulados /área (ACS	4	2	3	3	3	3 (adecuado, falta valores críticos)
	Escapes /área ACS) último ciclo	3	2	4	4	4	3,4 (Bueno si bien no provee contexto histórico)

[7] INFA: Informe ambiental acuicultura http://www.subpesca.cl/portal/618/w3-article-6775.html
[8] ACS o cuerpo de agua relevante o macrozona. En este caso se usa el área del ACS (descontando la porción terrestre).
[9] RAM: Resistencia antimicrobiana

La Tabla 1 describe los indicadores de presión que se consideran relevantes para abordar los riesgos frente a diferentes amenazas generadas por la salmonicultura. Es importante destacar que el área de cada ACS se ha calculado como el área designada para cada una de estas agrupaciones de concesiones de salmones descontando el área terrestre.

También es importante señalar que la "carga por unidad de área de ACS " es un indicador o estimador. Diferentes ACSs pueden tener diferentes condiciones oceanográficas que les permita sostener mayor o menor carga. Por ello este indicador se usa luego en conjunto con otros indicadores de la condición oceanográfica como el oxigeno en el fondo y la tasa de renovación en una matriz de riesgo semi cuantitativa. Se considera que la evaluación de riesgo ofrece una alternativa efectiva en ausencia de herramientas o modelos efectivos para abordar, por ejemplo, el tema de capacidad de carga. Un análisis de riesgo puede alimentarse con indicadores de presión y con indicadores de impacto o de respuesta del ecosistema. Obviamente mientras mejor es la calidad y periodicidad de la información oceanográfica para cada cuerpo de agua mejor será la capacidad del ente regulador para establecer y verificar el cumplimiento de estándares de tipo norma secundaria.

5.2 Indicadores de respuesta o estado ambiental de los cuerpos de agua

A continuación se describen una serie de variables e indicadores que el grupo experto participante en el taller consideró como más relevantes de acuerdo a los criterios propuestos (Anexo 2, Tabla 2) y que se podrían implementar desde ya.

5.2.1 Variables/Indicadores de estado ambiental e impacto sobre comunidades /sistema bentónico

La composición y abundancia de macrofauna de fondos blandos, y de ciertas especies en particular, como indicador de las condiciones de disponibilidad de oxígeno ha sido ampliamente usado. Ha habido esfuerzos importantes para caracterizar los impactos de diversos forzantes y especialmente el impacto de la materia orgánica proveniente de los centros salmonicultores sobre la macrofauna bentónica, especialmente de fondos blandos.

Probablemente este es el ámbito ambiental que cuenta con mayor información de impactos, especialmente debido a que el "Reglamento Ambiental para la Acuicultura", indica que todos los centros de cultivo una vez por ciclo de cultivo, deben presentar a la autoridad la Información Ambiental (INFA), la que reúne los antecedentes ambientales de un centro de cultivo en un período determinado. Dentro de los antecedentes a informar se encuentra la determinación de la abundancia y composición de la macrofauna bentónica, variables de gran relevancia, ya que actualmente forma parte de todos los programas de monitoreo ambiental de la actividad de salmonicultura a nivel mundial.

Por otra parte, la normativa expresa que la macrofauna bentónica es una de las variables que debe ser informada en las CPS e INFAs en centros de cultivo sobre fondos blandos y en diversas categorías (ver también información IFOP)[10]. Es importante destacar que los indicadores de fondos blandos y en particular el AMBI proveen una de las mejores herramientas de evaluación del estado de conservación de los ecosistemas en aquellos cuerpos de agua donde se cultiva salmón y puede servir como un adecuado proxi, inicial al menos, de otros procesos incluyendo algunos que ocurren en la columna de agua. Esta visión fue compartida por los participantes al taller pues este tipo de indicadores recibió los mejores puntajes de evaluación de acuerdo a los criterios propuestos (Anexo 2 , Tabla 2).

El AMBI (AZTI Marine Biotic Index; (Borja *et al.,* 2015) se basa en la composición específica y abundancia relativa de la comunidad macrobentónica y la asignación de estas especies a 5 grupos ecológicos que representan las diferentes estrategias de vida de las especies (r, K, tolerantes) y las caracteriza según sean éstas sensibles, tolerantes u oportunistas. El AMBI cumpliría adecuadamente todos los criterios propuestos como necesarios para un buen indicador. El AMBI está diseñado para proporcionar información integradora y representativa para el estado de la comunidad y el ecosistema, y se han establecido valores críticos bien respaldados a nivel internacional, así como también con información nacional en el área de la salmonicultura. Por otra parte, se puede medir en áreas con y sin salmones y/o también para comparar diferentes intensidades de impacto. Sería aparentemente fácil de medir existiendo software disponible para su análisis[11]; sin embargo la identificación taxonómica y la asignación a los grupos ecológicos de las especies aun presenta ciertos desafíos. Por ejemplo, este indicador requiere que los individuos de la macrofauna sean clasificados a nivel de especie y luego al grupo ecológico al cual pertenecen[12]. Actualmente aproximadamente 900 especies chilenas han sido incorporadas al listado que maneja el software, y por otra parte el uso de este indicador requiere de un entrenamiento en cuanto al manejo del software e ingreso de información, así como la interpretación de

[10] https://www.ifop.cl/macrofauna/resumen.html
[11] http://marine.lifewatch.eu/azti-marine-biotic-index-ambi
[12] Cuando más del 20% del total de individuos de la muestra no puede ser asignado taxonómicamente el indicador pierde robustez.

los resultados. Aún así, es uno de los indicadores que mayor potencial de aplicación tiene actualmente en Chile y además se puede robustecer a medida que se incrementa su uso.

En cambio, la utilización de indicadores de fondos duros, macrobentos, hábitats especiales, etc. presenta una gran brecha de información que también destaca de la evaluación de los participantes (Anexo 2, Tabla 3). Es importante recalcar además que solo se evalúa directamente la condición del bentos en menos del 40% de los centros dada la normativa actual que considera ese tipo de muestreo para fondos de categoría 3 (fondos blandos de menos de 60 m de profundidad, Tabla 2). En consecuencia, es fundamental incrementar esfuerzos para desarrollar mapas espaciales de la condición ambiental de comunidades de fondos duros, en pendiente y a mayor profundidad, pues se desconoce cómo se ha modificado la biodiversidad, estructura comunitaria, y productividad de estas comunidades. Es urgente generar información en forma más sistemática y en relación a los indicadores de presión por salmonicultura y la presión antrópica general, incluyendo la pesca, y el ingreso de aguas servidas, entre otros.

Un esfuerzo financiado por el Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura (FIPA)[13] hace un análisis de los potenciales impactos sobre la biodiversidad, pero en el caso de la fauna bentónica enfatiza solamente los fondos blandos.

Bentos archipielago Madre de Dios. Crédito: V. Häussermann & G.Försterra, Fundación Huinay.

Tabla 2. Numero de INFAS estimados correspondientes a centros de engorda salmonídeos donde se realizaría evaluación directa de la condición del bentos para el periodo 2017-2018 (elaborado a partir de la Tabla 10 en el Informe ambiental de la acuicultura, período 2017 a 2018)[14]. B= Fondos blandos, D= Fondos duros. <60 =Profundidades menores que 60 m, >=mayores que 60 m (blandos o duros)

Características fondo	Categoría	No INFAs	Registro directo de fauna y su condición (AMBI, Redox etc.)
B<60	3	116	116
D<60	4	27	--
BD<60	3-4	1	1
>60	5	139	--
	3-4-5	2	1
B<60y>60	3-5	42	21
D<60y>60	4-5	30	--
	Total	**357**	**139**

[13] Proyecto FIP 2014-48 "Evaluación y análisis de la biodiversidad marina y Continental afectada por las actividades de acuicultura (1era Etapa)" Thomas *et al.*, (2016).
[14] http://www.subpesca.cl/portal/618/w3-article-105757.html

El bentos como indicador de condición ambiental

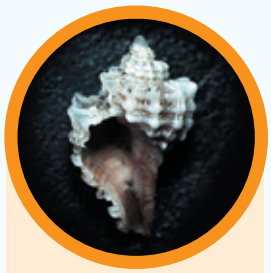
Entre los muchos aspectos que podemos usar para mejorar sustantivamente el monitoreo del impacto ambiental de la salmonicultura, está el estudio del efecto que las faenas de cultivo tiene sobre el fondo marino. Los indicadores bióticos de fondos blandos proveen una de las mejores herramientas de evaluación de la condición de bienestar del bentos (comunidad que habita el fondo) en aquellos cuerpos de agua donde se cultiva salmón y puede servir como un adecuado proxi, inicial al menos, de otros procesos incluyendo algunos que ocurren en la columna de agua.

Dada la ubicación de los centros de cultivo, profundidad y morfología de los sitios específicos, la evaluación de la condición del fondo solo ocurre en alrededor de 40% de los centros de acuerdo a la normativa actual que considera ese tipo de muestreo para centros de categoría 3 (fondos blandos de menos de 60 m de profundidad, Tabla 2). Las variables que se miden con la actual normativa no son suficientes para una buena estimación de la condición de estas comunidades pero con herramientas como el software AMBI, en cuya base de datos ya existen más de 900 especies chilenas, se podría avanzar de manera importante la calidad de la información y comprensión de los impactos de la acuicultura. Una gran brecha es además mejorar la comprensión del mismo impacto en fondos duros, en pendientes y a mayor profundidad donde hasta ahora solo se utilizan muestreos visuales.

En la imagen, se pueden ver distintas especies del bentos como indicadoras para la evaluación de la condición ambiental de fondos blandos con AMBI.

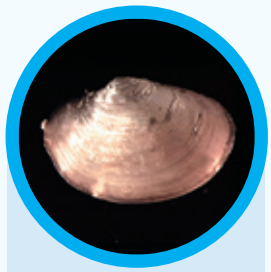
Algunas especies indicadoras de la evaluación de la condición ambiental de fondos blandos con AMBI

GE I:	*Especies sensibles al enriquecimiento orgánico, o especies presentes en condiciones no contaminadas*
GE II:	*Especies indiferentes al enriquecimiento orgánico*
GE III:	*Especies presentes en ambientes que comienzan a estar contaminados*
GE IV:	*Especies presentes en ambientes medianamente contaminados*
GE V:	*Familia Capitellidae, presente en ambientes altamente contaminados*



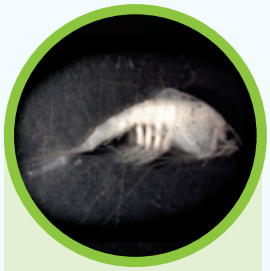
GE I- *Xanthochorus cassidiformis* (Blainville, 1832): 6 cm.

GE II- *Onuphis pseudoiridescens* Averincev*

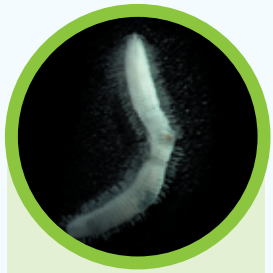


GE III- *Malletia chilensis* (Desmoulins, 1832): 2,5 cm.

GE IV- *Nassarius coppingueri* (E. A. Smith, 1881): 10 mm.

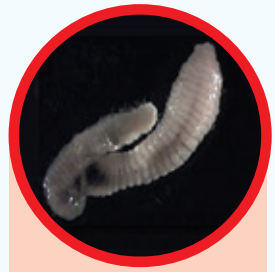


GE IV- *Nebalia sp*: 5 a 7 mm los más grandes.



GE IV- *Schistomeringos longicornis* (Ehlers, 1901)**

GE IV- *Nucula pisum* (G. B. Sowerby I, 1833): 1 cm.



GE V- Familia *Capitellidae*

*60 mm de largo para 142 segmentos (Hartmann-Schröder, 1965); entre 72 y 114 mm con hasta 190 segmentos (Hartman, 1964).
** 10 mm de largo para 52 segmentos (Rozbaczylo et al. 2006); 15 mm para 82 segmentos (Ehlers, 1901).
Crédito imágenes: MsC Sandra Marín, Proyecto FIC-Los Lagos: "Propuesta de monitoreo ambiental para la industria mitilicultora (2011-2012)". Universidad Austral de Chile. Información sobre las especies Dr. Nicolás Rozbaczilo.

Bentos de fondos duros

Pagurus edwardsi. Crédito: V. Häussermann & G.Försterra, Fundación Huinay.

Crédito: V. Häussermann & G.Försterra, Fundación Huinay.

Pagurus comptus. Crédito: V. Häussermann & G.Försterra, Fundación Huinay.

Acciones prioritarias para implementar el uso del AMBI como indicador de estado ambiental de fondos blandos (y potencialmente de otros componentes del ecosistema)

Para validar el uso del AMBI y para implementarlo, se requiere establecer la relación entre AMBI y una presión ambiental definida a nivel ecosistémico. Para esto se discutió (i) usar una metodología de escalamiento de los resultados obtenidos a nivel local a nivel de ACS (ej. INFAS) y/o macrozona o cuerpo de agua relevante, pero en base a la presión ambiental definida como incremento de materia orgánica total (MOT) y (ii) usar las estimaciones de aportes de Nitrógeno por la salmonicultura disponibles a partir del indicador de presión "Biomasa acumulada/km2", descrito en 5.1, (iii) Identificar otros indicadores que debieran usarse para la validación del AMBI. Para la implementación se requiere: (i) definir diseño muestreal (espacio-frecuencia temporal), (ii) fortalecimiento de capacidades técnicas en identificación de macrofauna bentónica, (iii) asignar las especies de macrofauna faltantes a los grupos ecológicos del AMBI.

5.2.2 Indicadores del estado ambiental de la columna de agua

La información actual, más allá de los centros de cultivo, no permite evaluar con certeza si la salmonicultura ha tenido o no un impacto sobre las características biogeoquímicas de la columna de agua. Las evaluaciones de oxígeno en el fondo en cuerpos de agua influenciados directamente por centros de cultivo muestran condiciones de bajo oxígeno en muchos casos (Figura 4) y algunos muestreos ampliados que realiza IFOP también muestran altas concentraciones de nutrientes. Se hace notar la carencia de una buena base de datos de nutrientes orgánicos como DON, DOP y amonio. Sin embargo, dicha base de datos está en curso de construcción por parte del equipo INCAR/COPAS SA y otras instituciones como CIEP. En general y de acuerdo a la información disponible para el mar interior de las tres Regiones, variables de calidad de agua, con excepción del oxígeno, no tienen aún suficiente alcance espacial, temporal y a profundidades relevantes, ni evaluaciones estandarizadas para utilizarse como indicadores adecuados. Sin embargo, las evaluaciones de oxígeno en superficie y especialmente en el fondo, así como los patrones que generan ventilación en fiordos y canales pueden ser muy relevantes (Anexo 2, Tabla 3) y en particular las evaluaciones que ha hecho el IFOP cubriendo los principales cuerpos de agua que albergan salmonicultura en las Regiones de los Lagos y Aysén.

Destaca también la necesidad de distinguir entre la influencia de factores físicos y oceanográficos sobre la concentración de oxígeno de aquellos antropogénicos en especial causados por la materia orgánica e inorgánica que genera la salmonicultura y también otras actividades como las aguas servidas de las ciudades. Por ello, se hace necesario comparar cuerpos de agua con diferente nivel de uso por parte de la salmonicultura, pero con condiciones batimétricas y oceanográficas relativamente similares, siendo prioritario establecer líneas de base en aquellos cuerpos de agua donde el desarrollo de la actividad es reciente o inminente, como es el caso en Magallanes y en algunos sectores de Aysén. Finalmente, investigaciones recientes han demostrado que la localización y disposición de las jaulas pueden afectar tanto la hidrodinámica de los canales/fiordos como la dispersión de patógenos y materia orgánica (Herrera *et al.,* 2018), además el cambio climático podría afectar la capacidad de carga de algunos cuerpos de agua especialmente en la Región de Los Lagos (Soto *et al.,* 2019).

Acciones prioritarias columna de agua

Es fundamental, estandarizar, mantener y ampliar las mediciones de oxígeno disuelto en superficie y profundidad como indicador ambiental de calidad de la columna de agua en los ACS y cuerpos de agua relevantes para la producción salmonera y otras actividades. Ello porque: i) ya existe información y en algunos casos bases de datos generadas por proyectos e instituciones, incluyendo al sector privado y ii) su evaluación entrega información integradora del estado del cuerpo de agua.

Se considera también relevante incluir nutrientes, en particular amonio, nitrato y fosfato cuyo uso como indicadores no es posible actualmente, debido a la escasa información y estandarización de la misma a nivel de cuerpos de agua. En consecuencia, es necesario ampliar evaluaciones y seguimientos a escala de cuerpos de agua. Se enfatiza la necesidad de analizar las razones estequiométricas de nutrientes más que las concentraciones absolutas, es decir DIN/DON, DIN/DIP, pues estas entregan mayor información sobre procesos y cambios en el ecosistema. Entre los esfuerzos recientes del Estado y coincidentes con nuestra propuesta destaca el proyecto FIPA 2016-68 (Hormazábal, 2018), el cual recomienda un sistema de monitoreo integrado de las ACS proponiendo una lista de 15 "variables esenciales" y los criterios hidrodinámicos y estadísticos utilizados para la selección de los sitios de monitoreo basados en boyas permanentes que provean información en tiempo real.

Se recomienda generar una norma secundaria de calidad ambiental para cada cuerpo de agua relevante, en base a la caracterización de un grupo de variables como las que se han indicado previamente. Además es necesario tomar en cuenta que no solo la actividad de acuicultura es la que modifica dicha calidad del agua, sino también las actividades forestales, agrícolas, industriales y el efecto de los aportes desde las ciudades, principalmente en la forma de aguas servidas.

Supervisión del proceso de alimentación mediante cámaras submarinas. Crédito: Salmonexpert.

5.2.3 Variables e indicadores de impacto de escapes de peces, interacción con mamíferos marinos y de efectos de enfermedades y/o antibióticos

Claramente la salmonicultura en sistemas abiertos que permite el contacto casi directo con el entorno puede generar diversos tipos de efectos. En el caso de los escapes, es importante generar y mantener un sistema de evaluación y seguimiento que permita definir políticas, regulaciones y acciones destinadas a incentivar su prevención y a maximizar sus tasas de recaptura. Para ello, es importante contar con información adecuada acerca de la magnitud de sus impactos.

Por otra parte, los sistemas de cultivo y la intensa actividad de cabotaje asociada a esta industria, pueden tener un impacto directo e indirecto sobre distintas poblaciones de mamíferos marinos. Se destacan entre ellos, los lobos marinos, dada su abundancia, la frecuencia de sus interacciones directas con los centros de cultivo y las denuncias eventuales de su caza ilegal. Son también de preocupación creciente los potenciales efectos negativos sobre especies amenazadas, como *Lontra provocax*, y sobre ballenas y delfines por interferencia de las rutas de migración y áreas de alimentación o cría de estas especies. Destaca la importancia de usar indicadores asociados a los predadores tope, como los lobos marinos, puesto que ellos pueden ofrecer información representativa e integradora de la salud del ecosistema.

Existiría información para desarrollar valores críticos de condición de algunas poblaciones, los cuales permitirían evaluar y minimizar interacciones con algunas especies como ballenas y lobos marinos. También es posible comparar áreas con salmones y sin salmones, al menos en la Región de Aysen, donde hay áreas marinas protegidas. Esto es fundamental en Magallanes donde aun es posible hacer los estudios comparativos, dado el menor desarrollo del sector en esa región. Las poblaciones de lobos marinos han crecido más en la Región de Los Lagos que en Aysén y ello se podría atribuir al crecimiento inicial y mayor concentración de la salmonicultura allí por un par de décadas. Sin embargo podrían haber otros factores, incluyendo variabilidad climática y pesca. Dado que en particular el lobo marino común parece tener una alta capacidad de adaptación a cambios en la disponibilidad de presas y condiciones ambientales, el monitoreo permanente es necesario.

Los escapes de salmones efectivamente detectados se estiman alrededor de 900 mil por año (Quiñones *et al.,* 2019) pero la cifras podrían alcanzar a 1.6 millones de individuos por

Jaulas de cultivo. Crédito: Salmonexpert.

año, por lo cual sus potenciales efectos no pueden ser ignorados. Si todos los escapados sobrevivieran, una estimación de su potencial impacto en cuanto consumo/alimentación sobre presas en el ambiente sería del orden de 11 a 19 mil toneladas de presas al año[15]. Es indudable, sin embargo, que existe también una importante presión de pesca artesanal sobre los salmones escapados y cuyo impacto puede ser muy significativo llegando a reducir en forma sustancial la abundancia de los escapados[16]. A esta presión se agrega aquella ejercida por los lobos marinos. Por ello, un monitoreo permanente de los escapes, presencia de salmonídeos en vida libre y fauna acompañante es esencial a nivel de cuerpos de agua.

En relación al monitoreo de escapes y sus efectos, es crucial considerar además la evaluación de presencia de enfermedades, parásitos y la posible existencia de resistencia antimicrobiana (RAM) generada por el prolongado uso de antibacterianos en la industria (Figueroa *et al.,* 2019). En general, es claro que la biomasa y /o el número de peces cultivados por cuerpo de agua relevante es un buen indicador de riesgo de escapes. Sin embargo, se estima necesario avanzar en otros indicadores directos, como los expuestos a continuación.

En relación a los potenciales efectos del uso de antibióticos, es necesario considerar que la salmonicultura no es la única actividad que aporta antibióticos al medio acuático. Efectivamente, hay diversos estudios que revelan altas concentraciones de antibióticos, hormonas y otros fármacos en efluentes aledaños a poblaciones humanas a nivel global (Danner *et al.,* 2019) y es importante recordar que la mayoría de los asentamientos humanos que bordean los mares interiores descargan sus aguas al mar sin tratamiento[17].

Acciones prioritarias escapes, interacciones, aspectos sanitarios y de bioseguridad

Se proponen las siguientes acciones:
a) Modernización del sistema de registro y estadística de escapes de salmones (indicador de presión). incluyendo alertas tempranas e infor-

[15] Considerando un rango de 0,9 a 1,6 millones de individuos escapados por año y las estimaciones de consumo reportadas por Niklitschek *et al.,* (2013) para el Fiordo Aysén.
[16] Soto *et al.,* (2001) Escaped salmon in the Chiloe and Aysen inner seas, southern Chile: facing ecological and social conflicts.
[17] Es el caso, por ejemplo, de Puerto Montt que solo tiene un sistema primario de desarenado para retención de solidos grandes. Así los nutrientes, antibióticos, pesticidas y todo producto de uso doméstico de una población de 300 mil habitantes está saliendo al Seno de Reloncaví en un área que genera alta concentración de aves peces y otros organismos. Como ejemplo, un estudio reciente aborda potenciales efectos de acuicultura ciudades y sinergia con materia orgánica. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719313907

Pontón habitacional. Crédito: Salmonexpert.

mación detallada de especies, lugar, numero, etc. Sería de utilidad incluir también información de mortalidad por lobos y perdida de individuos por hurto. Esta información estaría siendo reportada al Estado, pero sería importante que fuera pública y de acceso inmediato.

b) Marcaje universal individual y obligatorio de salmones cultivados. Esto permitiría un mejor seguimiento de escapes, robos y trazabilidad en general. Permitiría además generar estimaciones de abundancia y consumo de presas y sería una medida de gran utilidad en la eventualidad que se apruebe el proyecto de ley que está en revisión sobre captura artesanal de salmones para mitigar escapes.

c) Monitoreo de asilvestramiento en ríos centinela[18] , incluyendo, por ejemplo: i) abundancia relativa por especie y estadío de desarrollo en capturas de la pesca recreativa y campañas de pesca eléctrica, y ii) prospecciones estacionales de conteo de nidos, carcazas y juveniles.

d) Diseño e implementación un nuevo sistema de vigilancia de las unidades ecosistémicas relevantes (unidades de análisis), que implique monitoreos periódicos y el seguimiento estandarizado de las capturas artesanales que permitan cuantificar la presencia y abundancia relativa de salmonídeos en vida libre. Este monitoreo debería incluir un seguimiento de la posición trófica de los salmonídeos, es decir determinar que están consumiendo para lo cual se pueden usar técnicas desde macroscópicas a isotopos estables.

e) Evaluación periódica del consumo de presas por salmónidos escapados en unidades ecosistémicas relevantes y compararlos con umbrales de consumo de presas definidos en función de los efectos esperados de este consumo sobre la trama trófica (ej. S. Neira trabajo en preparación). Ello debe considerar las tasas de crecimiento de los escapados.

f) Monitoreo regular de la abundancia, éxito reproductivo, movimientos estacionales y dieta de los mamíferos marinos que interactúan más frecuentemente con centros de cultivos y salmónidos escapados, particularmente de lobo marino común, y de especies vulnerables *(Lontra spp)*.

g) Diseño e implementación de un sistema independiente (cámaras u observadores)) de monitoreo de la mortalidad incidental de aves y mamíferos marinos en un número representativo de centros de cultivo

h) Revisión y perfeccionamiento de las metodologías y estándares del monitoreo del estado sanitario de las especies de salmónidos y especies nativas desarrollado por IFOP, incluyendo, evaluación de presencia de enfermedades y de parásitos, así como la presencia de RAM.

i) Como medidas esenciales para abordar los potenciales impactos del uso de antibióticos en todo tipo de fauna y flora, se recomienda no solo evaluar la presencia de genes de resistencia en genomas de bacte-

[18] Conjunto representativo de ríos, seleccionados considerando una adecuada representación latitudinal de las áreas susceptibles de invasión, registros previos de presencia de juveniles o reproductores de especies aún no asilvestradas, y factibilidad operacional de un muestreo regular de los mismos.

ria marinas, sino además evaluar el grado de susceptibilidad en ensayos de concentración Inhibitoria Mínima (CIM), para establecer correcta relación entre batería génica y valores de susceptibilidad/resistencia. Además, se recomienda evaluar las concentraciones y tipos de antibióticos presentes, generación de RAM, CIM etc. en sitios controles lejos de actividad humana y/o lejos de actividad salmonicultora como comparación y para establecer niveles basales en los ambientes acuáticos además de potencial sinergia o interacción entre distintas fuentes.

5.3 Unidades ecosistémicas o cuerpos de agua relevante (CAR) como unidades de evaluación/gestión, y donde se realiza el monitoreo de los indicadores

5.3.1 CARs propuestos

Para establecer impactos ecosistémicos de la salmonicultura y de otras actividades antropogénicas, es necesario definir las unidades espaciales (y cuerpos de agua) que puedan ser afectadas, aunque no se pueda establecer con exactitud los "limites" o bordes del ecosistema (como sería en el caso de un lago).

Los criterios propuestos para definir unidades ecosistémicas permitieron a los expertos y equipo técnico del proyecto hacer una propuesta inicial, que además considera algunos elementos clave para la definición de estos y su gestión (Anexo 2, Tabla 2).

Existiría suficiente información para considerar al menos cuatro escalas geográficas de análisis, i) una relativa a las unidades locales, tales como las concesiones de cultivo, ii) la agrupación de éstas concesiones salmoneras (ACSs), y una tercera iii) vinculada a la escala de paisaje o ecosistema que denominaremos "cuerpo de agua relevante" (CAR) y cuya definición preliminar se haría en base a condiciones como "la edad del agua o tiempo de renovación del cuerpo de agua"[19], "condición de estratificación", condiciones de oxigeno del fondo y su ubicación geográfica. Obviamente las condiciones de oxigeno del fondo estarían relacionadas con las condiciones de estratificación y renovación del agua pero además responderían a ingresos y procesamiento de la materia orgánica.

Además, se pueden distinguir (iv) macrozonas oceanográficas que corresponden a áreas/cuerpos de agua mayores que se diferenciarían por la influencia y confluencia de aguas dulces y marinas además de características batimétricas y otras.

Claramente sería ideal desarrollar monitoreos espacialmente anidados es decir que van desde la escala de centro a ACS, al nivel CAR y al nivel de macrozona, pero desde una perspectiva práctica, de costos y de conectividad los CAR podrían ser inicialmente más efectivos para evaluar riesgos ambientales.

Desde la perspectiva del enfoque ecosistémico a la acuicultura estos CAR podrían también corresponder a lo que hemos denominado AMA, sin embargo, se prefiere la denominación CAR porque ha emergido claramente de las discusiones de los expertos que sería necesario gestionar otras actividades más allá que la acuicultura.

La Figura 4 muestra la distribución espacial de la edad del agua o tiempo de renovación del cuerpo de agua (Pinilla y colaboradores, IFOP)[18], expresada como un índice de retención del agua y un índice de hipoxia basado en las mediciones de oxígeno bajo los 50 m[20]. Esta información se encuentra además disponible en la plataforma CHONOS de IFOP http://chonos.ifop.cl/) la cual reúne la información de un programa de monitoreo de estas variables en cuerpos de agua utilizados por la salmonicultura en las Regiones de Los Lagos y Aysén. Para el logro de nuestros objetivos, en la Figura 4 se han sobrepuesto las ACSs. La codificación en puntajes y color de 1 a 5 se ha diseñado para simplificar la lectura y para facilitar la identificación de CARs como unidades que comparten las características mencionadas. Así, se propone que un índice de retención 5 (más de 200 días, ver Figura 4A) representa una alta retención del agua o una escasa tasa de renovación, condiciones que propician acumulación de materia orgánica y serían más propensas a eutroficación. En cambio, un valor de 1 sería equivalente a una escasa retención (menor que 30 días) o alta tasa de renovación.

Por otro lado, un índice de hipoxia 5 sería equivalente a menos que 2 mg/L, en tanto un valor de 4 se asigna cuando la concentración de Oxigeno está entre 2 y 3 mg/L (Figura 4B) (notar que el valor de condición de hipoxia del RAMA es 2,5 mg/L).

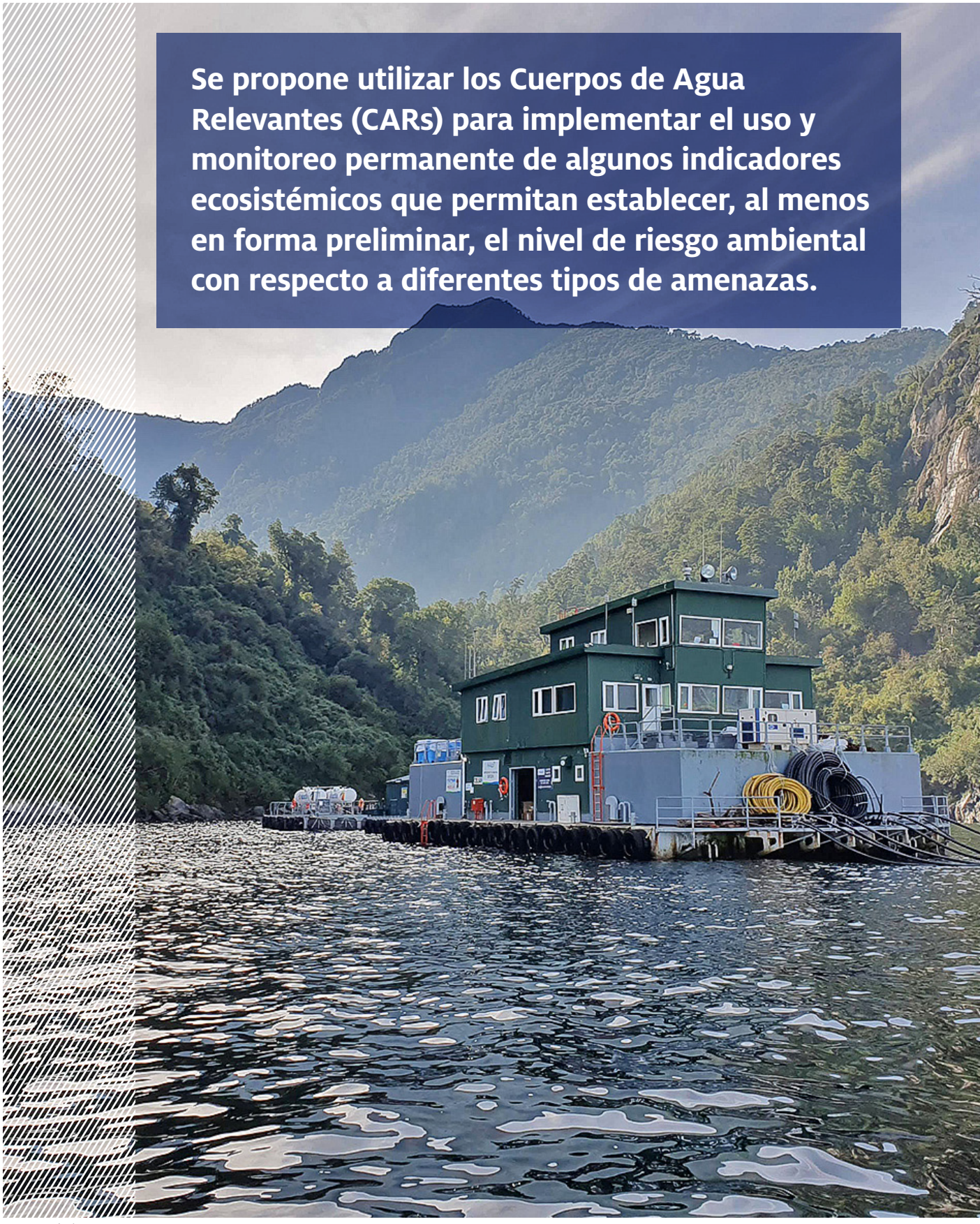
---

[19] De acuerdo a Takeoka (1984) y Monsen (2002), el tiempo de renovación del agua se define como el tiempo necesario para que la masa total de un material dentro de un área de interés, en este caso los fiordos de la Región de Los Lagos y Aysén, se reduzca a un factor de e-1 (~ 37%) (Prandle, 1984), sin embargo, en este estudio el criterio alcanzó el 20%. Para cada zona de interés, se definieron arbitrariamente sus límites, las cuales coinciden con la extensión de un fiordo, canal o golfo. La concentración inicial se define con valor de 1 dentro de las zonas de interés y fuera se establece un valor de cero.

Durante la simulación, la masa de agua original de la cuenca se reemplaza gradualmente por entradas a través de los límites abiertos, así como desde los ríos, lo que lleva a una reducción en el valor de la cantidad inicial. Esta variable muestra la cantidad de agua original que contiene cada elemento dentro del dominio de interés y, por lo tanto, se puede esperar que revele las áreas menos ventiladas de las cuencas modeladas. Cuando la concentración del trazador en un lugar de interés disminuya por debajo de un valor especificado a priori, en este caso, ~20%, entonces se considera el tiempo que tomó en llegar a esta concentración como el tiempo de renovación (Pinilla *et al.,* 2019, Plataforma Chonos, http://chonos.ifop.cl/)

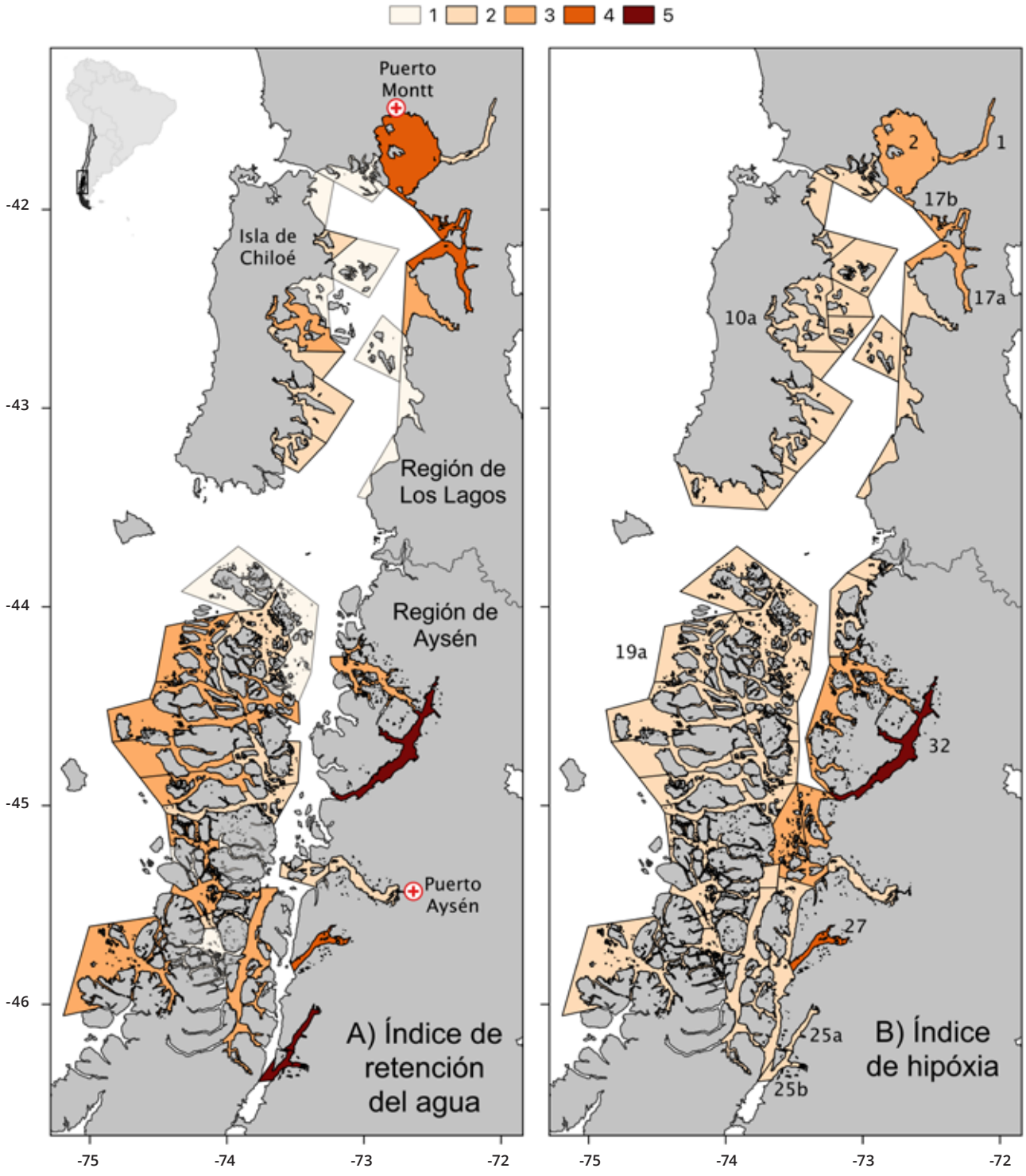
[20] Se obtuvo de mediciones de Oxígeno Disuelto realizadas mediante CTD-O en el mar interior de Chiloé (Soto *et al.,* 2018) y el mar interior de las regiones de Los Lagos y Aysén (Soto *et al.,* 2019).

Se propone utilizar los Cuerpos de Agua Relevantes (CARs) para implementar el uso y monitoreo permanente de algunos indicadores ecosistémicos que permitan establecer, al menos en forma preliminar, el nivel de riesgo ambiental con respecto a diferentes tipos de amenazas.



Faena acuícola. Autora: Doris Soto.

Figura 4. Índice de retención del agua para cada uno de los ACS (estimado en base al número de días que tarda la renovación de la masa de agua) para mar interior Región de Los Lagos y Aysén en base a modelación hidrodinámica (Pinilla y col., IFOP, http://chonos.ifop.cl/)13. Los puntajes (escala de colores superior) se han estimado como sigue: 1= 0-30 días de retención, 2=31-60, 3=61-120, 4= 121-200, y 5= más de 200. Se han sobrepuesto las ACS. B. Índice de hipoxia estimado en base a la concentración de O2 bajo 50 m para el mar interior en la Región de los Lagos y Aysén (Soto y col. http://chonos.ifop.cl/)14. Los puntajes y colores corresponden a: 1 = >5 ml/L, 2 = 4,1-5ml/L, 3 = 3,1-4ml/L, 4 = 2-3ml/L y 5 = <2ml/L



Con las consideraciones anteriores, se presenta aquí una propuesta preliminar de CARs basada en: i) conexión y cercanía de las ACSs y ii) características oceanográficas compartidas tales como el tiempo de renovación, estratificación y oxígeno en el fondo (Tabla 3).

Se propone utilizar los CARs para implementar el uso y monitoreo permanente de algunos indicadores ecosistémicos que permitan establecer, al menos en forma preliminar, el nivel de riesgo ambiental con respecto a diferentes tipos de amenazas. El análisis de riesgo provee un marco conceptual que permite estimar la probabilidad de ocurrencia de un evento negativo debido a una "amenaza identificada"[21] (para un objetivo general o específico), en conjunto con la magnitud de su impacto.

En el presente caso podemos proponer como objetivo general, la conservación de biodiversidad y servicios ecosistémicos en áreas que están sometidas a diversos usos incluyendo la salmonicultura, siendo esta última actividad nuestro foco de interés inicial.

Dado que no es posible con la información actual, determinar con certeza la capacidad de carga de los ACS o de los CARs, el análisis de riesgo aún a nivel cualitativo es una herramienta factible de ser utilizada, compartida y socializada y que puede ser alimentada con los indicadores de presión y de respuesta seleccionados.

Así, sería posible definir niveles de riesgo ambiental preliminares para ACS y CARs, considerando una serie de elementos de información utilizando como base el tiempo de renovación del agua y estratificación y complementando el análisis con otro tipo de información que se detalló previamente, como por ejemplo la carga productiva (biomasa de salmones) acumulada o por ciclo, llevada a la estimación de carga de nitrógeno como se observa en la Tabla 3. Así es posible, por ejemplo, establecer un nivel de riesgo de eutroficación del ecosistema y dado que se usa la carga de nitrógeno total como elemento de presión, se considera el riesgo de eutroficación para el CAR como un todo si bien se podría acotar a la eutroficación del subsistema bentónico. Ello no sería recomendable inicialmente en ausencia de suficiente información sobre los flujos de nutrientes entre la columna de agua y el bentos.

Una propuesta inicial de matriz de información se adjunta en el Anexo 2, Tabla 4.

Dependiendo de los valores de los indicadores que se usen y del nivel de riesgo resultante (utilizando una matriz de riesgo, que puede ser inicialmente semi-cuantitativa), es posible diseñar un sistema de monitoreo ambiental cuya frecuencia y alcance debería incrementar con el valor de riesgo estimado.

Para la Región de Magallanes aún no existe suficiente información, por ejemplo, sobre tiempos de renovación o edad del agua ni evaluaciones ampliadas de oxígeno en superficie y fondo y dado que es una región aun relativamente prístina, se propone que exista un programa de monitoreo ambiental ampliado en todas las ACS y con prioridad en aquellas que concentran mayor producción, como las ACS 49 y 50, además del Seno Skyring.

5.3.2 Análisis de riesgo semi-cuantitativo para abordar las diferentes amenazas y su potencial impacto en el ecosistema

Utilizando la información disponible para cada uno de los CAR, incluyendo aquellas variables que han servido para definirlos espacialmente, tales como edad del agua, tiempo de residencia e indicadores de presión como biomasa por área y estimación de nutrientes que han ingresado al sistema (Tabla 3), es posible generar una matriz de riesgo y estimar niveles de riesgo preliminares. En este caso, el Oxígeno en el fondo es una variable que caracteriza al cuerpo de agua resultando de condiciones oceanográficas naturales, pero que también podría estar siendo influenciada por la presión de la salmonicultura.

El concepto de peligro o riesgo se refiere a un agente o evento físico que tiene el potencial de causar daño o menoscabar la capacidad de alcanzar o mantener nuestro(s) objetivo(s) de alto nivel, como por ejemplo "conservar la biodiversidad y servicios ecosistémicos" en un ecosistema o espacio determinado. Un análisis de riesgo busca típicamente responder 4 preguntas: ¿Qué puede salir mal?, ¿Qué tan probable es que salga mal? ¿Cuáles serían las consecuencias si es que sale mal?, ¿Qué se puede hacer para reducir, ya sea la posibilidad o las consecuencias de que salga mal?. Típicamente, riesgos ambientales asociados a la acuicultura incluyen: i) degradación ambiental y ii) introducción y propagación de patógenos, pestes y especies invasoras[22].

[21] Amenazas como eutroficación (por ingreso excesivo de nutrientes), generación de RAM (por uso excesivo de antibióticos), disrupción de las tramas tróficas, deterioro de la productividad natural etc. Todas estas amenazas atentarían contra el objetivo de conservación de biodiversidad y servicios ecosistémicos. El análisis de riesgo se ha utilizado como aproximación general para evaluar impactos de la salmonicultura en Noruega (Taranger *et al.*, 2015)

[22] http://www.fao.org/3/i0490e/i0490e00.htm

Tabla 3. Cuerpos de agua relevante (CARs) propuestos y evaluación semi-cuantitativa de variables e indicadores relevantes para llevar a cabo una estimación de capacidad de carga y/o de nivel de riesgo[23] frente a algunas amenazas como la eutroficación del ecosistema resultante del ingreso de nutrientes desde la salmonicultura.

Cuerpo de agua relevante (CAR)	**ACSs**	**Índice de retención del agua** (1= mínima retención, 5 retención muy alta)*	**Oxígeno en el fondo o índice de hipoxia** (1= oxigenado, 5=hipoxia)**	**Carga acumulada de N (ton/km2) por ACS** (1= muy baja carga, 5= carga excesiva)***	**Carga de N por área último ciclo (ton/km2) por ACS** (1= muy baja carga, 5= carga excesiva)
Región de los Lagos		**Valor o Rango del puntaje**			
Estuario Reloncaví	1	2	3	5	5
Seno Reloncaví	2	4	3	3-4	4-5
Área Chacao	3a, 3b, 6	1	2	2-3	1-3
Área Quemchi-Mechuque-Dalcahue	7, 8, 9a, 9b, 9c	1,5	2	2-4	3-4
Quinchao	10a	2	2	3	4
Queilen a Quellón	10b,11,12a	1	1	2-3	2-3
Quellón Sur	12b,12c		1-2		
Chaitén al sur	13,14,15	1	3	1-2	1-3
Reñihué	16	3	2	2	3
Llancahue Comau	17a,17b	4	3	2-4	4
Región de Aysén					
Guaitecas Norte	18a,18b,18c	1-2	2	1-2	1
Guaitecas Sur	18d, 18e, 19a, 19b,20,21a, 21b, 21c	2	1-2	1	2-3
Weste Islas Melchor –Isla Luz	22a, 22b, 22c, 22d, 23b, 23c	1	2	1-2	1-4
Estero Walker a canal Costa	23a, 24, 26a, 26b	2-3	2	1-2	1-4
Cupquelan	25a, 25b	5	5	2-3	5
Quitralco	27	5	4	2	3
Fiordo Aysén	28a, 28b, 28c, 29	2-3	2-3	1-3	2-5
Puerto Aguirre	30a, 30b	3	2-3	1	2-3
Puyuhuapi	32	5	4	2	4
Isla Magdalena-Melimollu	31, 33, 34, 35	2-3	2-3	1-2	3-4

*En la Figura 3 se describen los intervalos propuestos para cada puntaje (1 a 5) para el índice de retención del agua (Pinilla *et al*., Chonos)
** En la Figura 4 se describen los intervalos propuestos para cada puntaje representando el índice de hipoxia (Pinilla *et al*., Chonos)
***Usando la información que se muestra en la Figura 2 donde carga de N/km se clasifica como 1 cuando es <20 ton/km2, 2=20 - 50, 3 = 51-80, 4= 81-110 y 5 = > 110. Categorización basada en el aporte proporcional a la biomasa acumulada producida por km2 de área ACS entre el 2007 y el 2017 (Soto *et al*., 2019)11.

[23] Para una matriz de riesgo clásica de 5x5 se puede utilizar puntajes (1 a 5) para evaluar la probabilidad de ocurrencia de un evento, luego la magnitud se pondera también con puntajes de 1 a 5, correspondiendo a la importancia o volumen/extensión de aquello que se puede perder.

Centros de cultivo en Aysén. Autor: Centro INCAR.

Una típica matriz de riesgo semi-cuantitativa es una matriz de 5 x 5 (P x M) donde la probabilidad de ocurrencia de un evento (P) se estima con un puntaje o valoración que va desde 1=raro, 2=muy bajo, 3=bajo, 4= alto y 5 =muy alto (Figura 5). De la misma forma, se puede evaluar la magnitud de su impacto o consecuencia (M) que puede ir desde 1=insignificante, 2=menor, 3= moderado, 4=mayor y 5=catastrófico.

Así, elaboramos como un ejercicio y aproximación preliminar, una matriz inicial para estimar el riesgo de que ocurra eutroficación implicando la pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos, donde la probabilidad de ocurrencia se estima considerando los indicadores y/o características que se han descrito en la Tabla 3 y la magnitud del impacto o consecuencia se podría considerar en forma pareja como "mayor" (4) para todos los CAR. Esta es una hipótesis pues en realidad no tenemos suficiente información para estimar que es lo que perderíamos y la magnitud del impacto. Este también podría ser Catastrófico (5), es decir podría cambiar en forma dramática la biodiversidad y funciones ecosistémicas clave.

Figura 5. Esquema matriz de riesgo.

		Impacto / Consecuencia				
		1	2	3	4	5
Probabilidad de ocurrencia	1	1	2	3	4	5
	2	2	4	6	8	10
	3	3	6	9	12	15
	4	4	8	12	16	20
	5	5	10	15	20	25

La probabilidad de ocurrencia (P) se basa, para este ejercicio, en 3 variables /indicadores de las condiciones de los CAR que ya se han descrito, i) la edad del agua (como inverso de la tasa de recambio) que en este caso se representa como un índice de (1 a 5). Mientras mayor es este índice (5), más baja es la tasa de recambio, por lo cual incrementa la posibilidad de retener los nutrientes en el cuerpo de agua, su potencial sedimentación e incremento de respiración bacteriana. La segunda característica (ii) es el Oxígeno en el fondo representado por el índice de hipoxia y la tercera (iii) es la estimación de biomasa que se ha producido en forma acumulativa en la ACS de la cual se ha calculado el total de nitrógeno que ha ingresado. Se agrega una última variante de la característica anterior, cual es la biomasa por área en el último ciclo (Tabla 3). Esta permitiría corregir por los cambios/desplazamientos más recientes a nuevas áreas.

Tabla 4. Matriz de riesgo preliminar para la ocurrencia de eutroficación afectando servicios ecosistémicos y biodiversidad de los CAR usando información en la Tabla 2.

CARs	ACSs	Puntaje estimado para la probabilidad de ocurrencia de un evento (P)*	Magnitud estimada del impacto (M)**	Riesgo (P x M)	Riesgo normalizado (P x M)/25
Región de Los Lagos			**Valor o Rango del puntaje**		
Estuario Reloncaví	1	3.8	4.0	15	0.6
Seno Reloncaví	2	3.5	4.0	14	0.6
Área Chacao	3a, 3b, 6	1.7	4.0	7	0.3
Área Quemchi-Mechuque-Dalcahue	7, 8, 9a, 9b, 9c	2.5	4.0	10	0.4
Quinchao	10a	2.8	4.0	11	0.4
Queilen a Quellón	10b,11,12a	1.0	4.0	4	0.2
Quellón Sur	12b,12c	na	na		
Chaitén al sur	13, 14, 15	2.0	4.0	8	0.3
Reñihué	16	2.5	4.0	10	0.4
Llancahue Comau	17a, 17b	3.5	4.0	14	0.6
Región de Aysén					
Guaitecas Norte	18a,18b,18c	1.5	4.0	6	0.2
Guaitecas Sur	18d, 18e, 19a, 19b, 20, 21a, 21b, 21c	1.5	4.0	6	0.2
Weste Islas Melchor –Isla Luz	22a, 22b, 22c, 22d, 23b, 23c	1.5	4.0	6	0.2
Estero Walker a canal Costa	23a, 24, 26a, 26b	2.0	4.0	8	0.3
Cupquelan	25a, 25b	5.0	4.0	20	0.8
Quitralco	27	3.5	4.0	14	0.6
Fiordo Aysen	28a, 28b, 28c, 29	2.0	4.0	8	0.3
Puerto Aguirre	30a, 30b	2.0	4.0	8	0.3
Puyuhuapi	32	3.8	4.0	15	0.6
Isla Magdalena-Melimollu	31, 33, 34, 35	2.0	4.0	8	0.3

*P se obtiene del promedio de los puntajes de las 4 columnas que caracterizan la condición del CAR en la Tabla 2. En el caso que alguna/s columnas de la Tabla 3 presentaron un rango, se usó el valor medio de este para calcular el promedio.
**M o magnitud estimada del impacto se considera en forma conservativa como "alta" (=4) en ausencia de suficiente información sobre la biodiversidad y/o servicios ecosistémicos que se podrían perder.

Dado que un CAR puede incluir varias ACS, en la Tabla 3 se muestra el rango de puntaje[24] considerando que cada valor asignado representa desde una carga mínima a una excesiva (1 a 5). Para elaborar la matriz (Tabla 4) se usó un promedio de los puntajes asignados a cada ACS, en particular para la carga acumulada y para aquella estimada en el último ciclo. Esta última informa sobre la carga actual. Así se puede observar, por ejemplo, que en Aysén los puntajes asignados a la carga acumulada son menores que aquellos asignados a aquella en el último ciclo. Esto ocurre porque la producción de salmónidos se ha ido trasladando hacia Aysén más recientemente.

[24] Eventualmente se podrían sumar las áreas de las CAR una vez se tenga mayor información sobre conectividad.

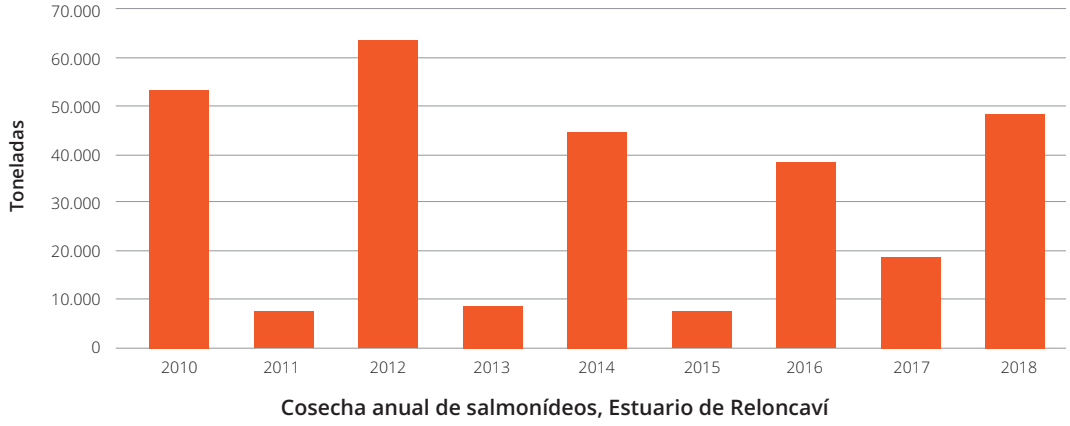
El Puntaje estimado para la probabilidad de ocurrencia de un evento (P) se calcula promediando las cuatro características que describen cada CAR. Por ejemplo en el caso del Estuario de Reloncaví, P tiene un valor de 3.8 (=(2+3+5+5)/4). Esto es claramente una simplificación que supone que todos los elementos usados tienen el mismo peso y ello es discutible. Por ejemplo si le damos mas peso relativo a la biomasa cosechada y su carga de N en el último ciclo, incrementaría el nivel de riesgo especialmente en Aysén.

Por otra parte, esta es una matriz (Tabla 4) relativamente conservadora porque a la magnitud del impacto (M) se le ha asignado un valor equivalente a impacto significativo (M=4) dado que no se tiene valores para los indicadores que permitan estimar la condición de conservación de biodiversidad y servicios ecosistémicos de los CAR (más allá de la información INFA de los centros de cultivo). Por ello es fundamental comenzar a monitorear AMBI y otros indicadores en fondos blandos y obtener información adecuada de fondos duros y otros indicadores incluyendo el subsistema pelágico.

La matriz de riesgo resultante (Tabla 4), sugiere que deberían tomarse medidas relativamente urgentes en el Estuario y Seno de Reloncaví, Llancahue-Comau, Cupquelan, Quitralco y Puyuhuapi. Es necesario, al menos, implementar un sistema de monitoreo ampliado y permanente buscando evaluar otros indicadores como nutrientes en la columna de agua, AMBI, en fondos blandos y llevar a cabo algún análisis del estado ambiental de fondos duros. Con esta información podría considerarse la reducción de la producción total en cada uno de estos ecosistemas.

Es relevante destacar que el proyecto FIPA 2007-21 (Daneri *et al.,* 2010) estudia y desarrolla, con toda la información disponible y evaluaciones de terreno, un modelo de la capacidad de carga del Estuario Reloncaví (ACS 1) para cultivar salmones y estima que la carga máxima no debería superar 15000 toneladas anuales distribuidas en tres subcomponentes oceanográficos del estuario. Sin embargo, desde el 2010 a la fecha la biomasa promedio anual de salmones ha superado con creces ese valor. Ello se estima a través de las cosechas, las cuales tienen una fluctuación anual que responde a los ciclos productivos de 18 meses de tal forma que en años pares se ha cosechado hasta 63 mil toneladas y en los impares menos de 10 mil con excepción del 2017 (Figura 6) por lo cual en promedio cada año habría en el agua entre 28 mil a 30 mil toneladas. De acuerdo a la propuesta de Daneri *et al.,* (2010), se habría sobrepasado la carga máxima estimada y no es evidente cómo los resultados de ese proyecto han afectado o modificado la producción en este ecosistema

Figura 6. Cosecha anual de salmonídeos últimos 10 años en el Estuario de Reloncaví (ACS1). Información elaborada a partir de datos de SERNAPESCA solicitados por el mecanismo Ley de Transparencia.



Por otra parte, sería necesario elaborar una matriz de riesgo que considere en forma conjunta amenazas debido a eutroficación, uso de antibióticos, pesticidas, escapes y otros. Una matriz integrada puede asignar diferentes ponderaciones a las diversas amenazas para estimar un índice de riesgo general y único. La información para la matriz de riesgo considerando potenciales impactos de antibióticos y pesticidas podría usar también como indicadores la biomasa acumulada, la biomasa actual por área y la edad del agua, puesto que mientras más lenta es la renovación del agua más probable que estos químicos y otras sustancias se acumulen. En cambio, una matriz para evaluar el potencial efecto de *Caligus rogercresseyi* sobre fauna nativa podría utilizar biomasa acumulada, biomasa actual por área (y mejor número de peces en el agua) y otros indicadores, como distancia mínima entre centros. Interesantemente, cuerpos de agua con menor edad del agua, es decir con mayor tasa de recambio podrían significar mayores riesgos de dispersión, entonces el puntaje seria inverso.

Una matriz de riesgo para evaluar potencial impacto de los escapes puede usar el número de peces sembrados por ciclo por cada CAR y el número acumulado de los últimos 20 años o más, además del número reportado de peces escapados. En este caso se podría usar también un indicador de sobrevivencia de los escapes que podría incluir la mortalidad por pesca (Soto *et al.,* 2001) y por consumo de lobos.

El monitoreo de indicadores de presión y de respuesta permitiría evaluar y reajustar los niveles de riesgo generales y en relación a amenazas específicas para cada CAR a la vez que se podrían generar matrices de riesgo con información mas cuantitativa.

5.3.3 Monitoreo seguimiento y gestión de los CAR

- La presente propuesta de CARs requeriría de validaciones posteriores desde la ciencia y desde el Estado para determinar los ajustes cuantitativos necesarios. Sin perjuicio de ello y basándose en la información preliminar aquí presentada (Tabla1), la recomendación del equipo técnico de esta iniciativa, otros expertos consultados y participantes del taller es considerar al menos los siguientes CAR como sistemas piloto de un plan de monitoreo y seguimiento: (1) Estuario de Reloncaví, (2) Llancahue-Comau, (3) Quemchi-Mechuque, (4) Área central mar interior, (5) Puyuhuapi, (6) Fiordo Aysén, (7) Tortel (referencia), (8) Skyriing y al menos un sistema adicional en Magallanes. Los cuerpos de agua propuestos, se eligieron dado que son lugares que han albergado una importante concentración de la producción y, además, donde actualmente hay monitoreos en línea o series de tiempo de algunas variables oceanográficas, químicas y meteorológicas, a las cuales se les puede incluir o aumentar las variables propuestas como indicadores ambientales de la calidad de la columna de agua. Además, se considera urgente implementar sistemas de monitoreo a nivel de CAR en Magallanes donde hasta ahora la información es mínima.

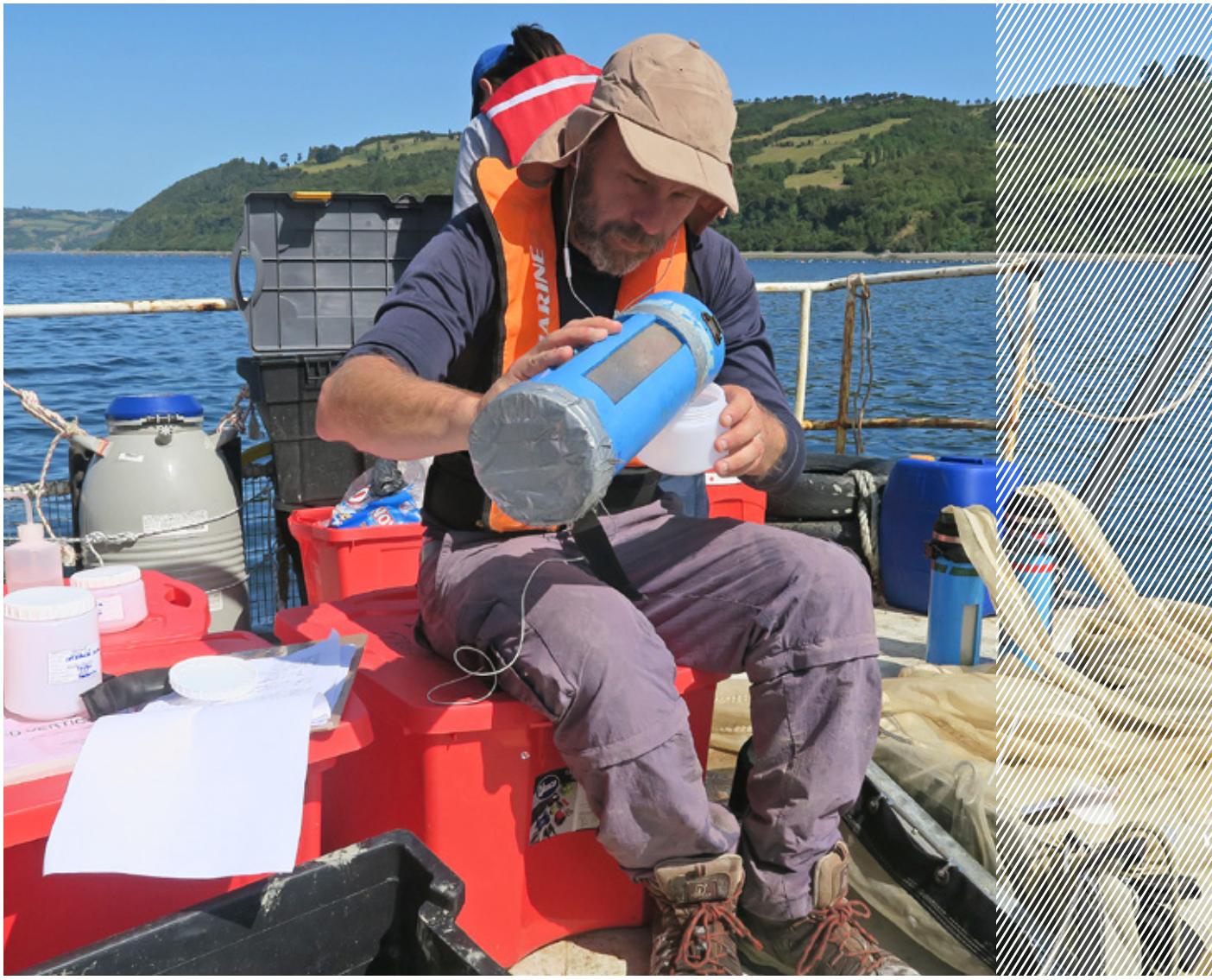
- Considerando la información unitaria de las concesiones de la salmonicultura, el siguiente paso correspondería a contextualizar su operación a una escala de CARs que permita cruzar la información productiva con las características de los sistemas costeros. Esta etapa implica asignar a cada unidad (ej. ACS) datos como i) condiciones hidro-climáticas de influencia (rangos y variabilidad de precipitaciones y temperatura del aire; fuente de información: CR2), ii) profundidad media y volumen (batimetría, borde costero; fuente de información: Armada de Chile, IFOP, FIPA), iii) tipos de masas de agua descritas para cada sistema (fuente: artículos científicos, sistema de monitoreo de IFOP-CHONOS, informes Cimar Fiordo, FIPA), iv) amplitud de excursión mareal (fuente: artículos científicos, SHOA), y v) magnitud de la influencia de agua dulce (fuente: artículos científicos[25]).

Este último aspecto puede estar referido a la presencia de ríos importantes (caudal, tipo de régimen, pluvial, nival, mixto; fuente de información: DGA, CR2) e idealmente la identificación de zonas con y sin influencia de plumas de ríos (Fuente de información: sensoramiento remoto, publicaciones científicas).

- Diseñar un sistema de monitoreo ambiental integrado para medir o estimar las variables que alimenten a los indicadores seleccionados y que permitan elaborar otros que contribuyan con mayor información a nivel de cuerpo de agua relevante. Esto incluyendo indicadores de presión (biomasa y numero de peces por unidad de área como se describe en el pto. 5.1 arriba y los indicadores de impacto que se han elegido. La frecuencia e intensidad de monitoreo debería responder al nivel de riesgo estimado (ver Tablas 3 y 4 en Anexo 2).

Es importante destacar que han existido diversos esfuerzos recientes para diseñar un sistema integrado de monitoreo oceanográfico propiciados tanto por el estado (FIPA 2016-68, Hormazábal, 2018) como por las instituciones de investigación en su conjunto, cual es el caso del sistema integrado de observación del océano SIOOC, esfuerzo propuesto en el marco de la COP25[26]. Resulta urgente integrar todos estos esfuerzos e implementar un sistema que permita monitorear los cambios en el ecosistema resultantes de la actividad.

[25] Por ejemplo; Saldías *et al*., (2019). Freshwater structure and its seasonal variability off western Patagonia. Progress in Oceanography 174:143-153, León-Muñoz *et al*., (2018) Hydroclimatic conditions trigger record harmful algal bloom in western Patagonia (summer 2016). Scientific Reports 8 (1330).
[26] http://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2019/12/Propuesta-de-sistema-integrado-de-observaci%C3%B3n-del-oc%C3%A9ano.pdf



Colecta de muestra de zooplankton desde red tucker truwl (300 um) - Investigación de Crucero de Cientifíco INCAR en Achao, Chiloé, enero 2020. Autora: Ninoska Figueroa.

Es necesario determinar puntos estratégicos de muestreo dentro de cada CAR considerando la posición de los centros de cultivo, morfometría, dirección de corrientes, tiempo de residencia, edad del agua, estratificación, etc. También sería necesario que estos monitoreos se coordinaran e integraran dentro de lo posible con aquellos programas de seguimiento de los centros como INFA, etc.

- Se estima como fundamental centralizar e integrar la información sobre cada CAR, incluyendo la información oceanográfica y climatológica relevante, indicadores de presión, indicadores de impacto, análisis de riesgo frecuente y actualización de matrices de riesgo abordando las diferentes amenazas para el ecosistema. Esta información debería ser gestionada y coordinada por una institución (ej. IFOP), debería ser de carácter pública y transparente, y debería conectarse claramente a las decisiones del Estado en relación al control y seguimiento de la salmonicultura.

- Sería fundamental incorporar al actual Reglamento de Densidades indicadores de gestión relacionados con potenciales impactos a nivel de ecosistema.

-La gestión ambiental integrada de los CARs y/o de las ACS permitiría también abordar e implementar sistemas de certificación a esta escala y en el marco del enfoque ecosistémico, donde sería posible, por ejemplo, considerar el diseño de acuicultura multitrófica integrada[27] a nivel de paisaje.

[27] https://www.dfo-mpo.gc.ca/aquaculture/sci-res/imta-amti/index-eng.htm

6. Conclusiones y recomendaciones para las etapas siguientes

6.1 Propuestas metodológicas

(i) Se propone la definición de cuerpos de agua relevantes (CAR) como cuerpos de agua que albergan una o más ACS y que ameritan un monitoreo ambiental integrado, cuya definición de borde preliminar se haría en base condiciones como el tiempo de renovación del agua, índice de estratificación, condiciones de oxígeno del fondo, su ubicación geográfica y conectividad aparente.

(ii) Se proponen como indicadores de presión: la biomasa o producción acumulada por ACS, biomasa acumulada/área, biomasa total y /área en el ciclo más reciente para cada ACS. Se propone también utilizar la cantidad de pesticidas y de antibióticos por área (toneladas/km2) por ACS y número de peces sembrados por área además de los escapes de salmones acumulados y por año en cada ACS.

(iii) Con la información disponible y metodologías existentes es posible plantear los siguientes indicadores: oxígeno en la columna de agua y fondo, nutrientes (nitrato, amonio, ortofosfato y sus proporciones estequiométricas), el indicador AMBI (y otros que se pudiesen desarrollar o implementar para la Patagonia) para fondos blandos, presencia de salmones escapados en vida libre, abundancia de lobos marinos y su comportamiento.

(iv) Se recomienda avanzar en la elaboración y mejoramiento de indicadores sanitarios siguiendo las recomendaciones del numeral 5.2.3 arriba y otros indicadores con gran potencial que aún no están condiciones de implementarse (ver Informe taller Anexo 1).

6.2. Propuestas de acciones y decisiones de políticas públicas

Para que la salmonicultura pudiera llegar a ser considerada en algún momento una alternativa productiva sustentable es necesario implementar sistemas de evaluación ambiental a nivel de ecosistema que nos permitan conocer en forma permanente sus efectos y la capacidad del ecosistema de soportarlos. Esto también sería necesario implementarlo en otras actividades productivas incluyendo la mitilicultura y la pesca. Además es fundamental considerar también los impactos de las aguas servidas (como es el caso del emisario de Puerto Montt que descarga al Seno de Reloncaví).

(i) Reconociendo que el Estado y otras instituciones relevantes ya realizan algunos esfuerzos para abordar la capacidad de carga y la potencial sensibilidad de varios de los CARs, **es fundamental y urgente** que la información generada se integre, se coordine y determine medidas acordes a preservar la resiliencia de los ecosistemas. Es también necesario que el proceso de investigación análisis y toma de decisiones respecto del uso de los CARs sea ampliamente difundido y que se considere la participación necesaria para facilitar la implementación y seguimiento informado por parte de la comunidad.

(ii) **Es fundamental y urgente** establecer monitoreos ambientales integrados, públicos, transparentes y con excelente difusión para cada CAR, incluyendo además de las variables oceanográficas relevantes todas las variables detalladas en los puntos (ii) y (iii) en el numeral 6.1 arriba. Se considera necesario integrar y conectar con estas evaluaciones, aquellas realizadas en fondos blandos utilizando el indicador AMBI a escala de CAR y en lo posible incluir variables y otros indicadores que han sido me-

nos explorados. Se sugiere comenzar (o continuar en caso que se esté realizando[28]) con los siguientes: 1.- Estuario y Seno de Reloncaví, 2.- Llancahue-Comau, 3.- Quemchi-Mechuque, 4.- Área central mar interior, 5.- Puyuhuapi, 6.- Fiordo Aysén, 7.- Cupquelany/o Quitralco, 8.- Tortel (referencia), 9.- Skyriing y, al menos, 10.- un sistema adicional en Magallanes.

(iii) **Es fundamental y urgente** crear cuerpos de agua/ecosistemas de conservación y que puedan servir como sistemas de referencia especialmente en la Región de los Lagos (¡donde no existen!) y también en la Región de Aysén. Estas serían nuevas áreas marinas protegidas que permitirán comparar en forma más objetiva cuerpos de agua con y sin salmones y que nos podrán informar sobre la biodiversidad y servicios ecosistémicos que podríamos perder (suponiendo que ya no ha habido impactos significativos, no solo de la salmonicultura sino también de la pesca, la mitilicultura, la agricultura, las ciudades, etc.). Por ejemplo, el fiordo Comau, donde además existen iniciativas de evaluación y conservación de la biodiversidad, sería una opción muy relevante.

(iv) **Es fundamental y urgente** implementar el uso de matrices de riesgo[29] o mecanismos similares para cada CAR y para cada amenaza que informe la toma de decisiones especialmente en relación a la producción máxima por área y distribución de la misma en el tiempo. La evaluación preliminar realizada en este documento en relación al riesgo de eutroficación, permite recomendar la reducción de la producción en el Estuario y Seno de Reloncaví, Llancahue-Comau, Cupquelan, Quitralco y Puyuhuapi.

(v) **Es fundamental y urgente** iniciar un programa de monitoreo ambiental a nivel de CARs que están siendo usados por la salmonicultura en Magallanes. Esto es una oportunidad única para tener información sobre estado actual, evolución y respuesta del ecosistema en el tiempo. Esta información es esencial para tomar decisiones sobre cualquier eventual propuesta de desarrollo de la salmonicultura en esa Región.

(vi) **Es prioritario** iniciar un plan de evaluación del estado de la diversidad en fondos duros y especies sésiles que puedan ser clave y/o indicadoras del estado ambiental de los ecosistemas y que puedan ser incluidas en el programa de monitoreo integrado.

(vii) **Es prioritario** incrementar esfuerzos para desarrollar mecanismos de evaluación del impacto de pesticidas y antibióticos a nivel ecosistémico que sean relativamente fáciles de medir, estandarizar y validar. Se reconoce que esta es una brecha importante de información. Si bien existen monitoreos de estado sanitario de peces típicos de la pesca artesanal, estos deben ampliarse a nivel de CAR enfatizando también el uso de lugares de referencia separando áreas con impactos de aguas servidas de aquellos con salmonicultura.

(viii) **Es necesario** incrementar esfuerzos para definir indicadores del estado ambiental y cambios de las comunidades pelágicas, desde microalgas, a zooplancton, peces, e incluso el desarrollo de FANs y como estas se relacionan con la salmonicultura y otras actividades.

(ix) **Es necesario** abrir la discusión con la sociedad para priorizar qué es lo que queremos conservar, qué tipo de servicios ambientales no queremos perder y como se abordan estos considerando diferentes actividades productivas alternativas y /o complementarias.

[28] IFOP lleva a cabo un monitoreos de algunos de los CARs mencionados pero estos tendrían que ampliarse, integrarse, conectarse mejor con el estado ambiental de los ecosistemas y niveles de riesgo además de comunicarse.
[29] Sugerencia de una base de datos y matriz de riesgo en Anexo 2, Tabla3.

7. Referencias

Borja, A., Marin, S. Muxica, I., Pino, L. Y J. Rodriguez. 2015. Is there a possibility of ranking benthic quality assessment indices to select the most responsive to different human pressures?. Marine Pollution Bull 97:85-94.

Daneri, G. y colaboradores. 2010. Evaluación de la capacidad de carga del estuario Reloncaví, X región. Proyecto FIPA 2007–21. Fondo de Investigación Pesquera y Acuícola, Subsecretaria de Pesca, Informe final 264 pp. http://www.subpesca.cl/fipa/613/articles-89194_informe_final.pdf

Danner, M.C., Robertson, A., Behrends, V., and Reiss, J. 2019. Antibiotic pollution in surface fresh waters: Occurrence and effects. Science of the Total Environment 664:793–804).

Herrera J, Cornejo P, Sepúlveda HH, Artal O, Quiñones RA (2018) A novel approach to assess the hydrodynamic effects of a salmon farm in a Patagonian channel: coupling between regional ocean modeling and high resolution simulation. Aquaculture 495: 115–129. (https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.05.003)

Hormazabal, S. 2018. Evaluación y análisis de los requerimientos necesarios para la implementación de una red de monitoreo para las agrupaciones de concesiones de acuicultura. Fondo de Investigación Pesquera y Acuícola, Subsecretaria de Pesca, Informe final FIPA 2016-68, 530 pp http://www.subpesca.cl/fipa/613/articles-96201_informe_final.pdf

León-Muñoz *et al.*, 2018. Hydroclimatic conditions trigger record harmful algal bloom in western Patagonia (summer 2016). Scientific Reports 8 (1330).

Monsen, N.E., Cloem, J.E., Lucas, L.V., Monismith, S.G., 2002. A comment on the use of flushing time, residence time, and age as transport timescales. Limnology and Oceanography 47 (5), 1545-1553

Mayr *et al.*, (2014) Responses of nitrogen and carbon deposition rates in Comau Fjord (42°S, southern Chile) to natural and anthropogenic impacts during the last century. Continental Shelf Research 78: 29–38.

Niklitschek, E. J., Soto, D., Lafon, A., Molinet, C. and Toledo, P. 2013, Southward expansion of the Chilean salmon industry in the Patagonian Fjords: main environmental challenges. Reviews in Aquaculture, 5: 172–195. doi: 10.1111/raq.12012

Pinilla, E., 2018. Determinación de las escalas de intercambio de agua en fiordos y canales de la Patagonia norte, Etapa I. (Informe final). Valparaíso: Instituto de Fomento Pesquero. Disponible en:http://190.151.20.106/exlibris/aleph/a23_1/apache_media/XA7Y3QAT7GJNIHKAVLVJ6PXM4NILIU.pdf

Pinilla, E., Soto, G., Soto-Riquelme, C., 2019. Determinación de las escalas de intercambio de agua en fiordos y canales de la Patagonia norte, Etapa II. (Informe final en revisión). Valparaíso: Instituto de Fomento Pesquero.

Prandle, D., A modelling study of the mixing of 137Cs in the seas of the European Continental Shelf. Phil.Trans.R.Soc., A, 1984, 310, 407–436

Quiñones, R.A., Fuentes, M., Montes, R., Soto, D. and León-Muñoz, J. 2019. Environmental issues in Chilean salmon farming: a review. 2019. Reviews in Aquaculture 11(2): 375-402. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/raq.12337

Saldías, G., S., Sobarzo, M y R. Quiñonez. 2019. Freshwater structure and its seasonal variability off western Patagonia. Progress in Oceanography 174:143-153.

Soto, G., Pinilla, E., Soto-Riquelme, C., Reche, P., Arriagada, M., 2018. Modelación de Alta Resolución Aplicada al Transporte Hidrodinámico, al interior del Mar Interior de Chiloé, X Región de Los Lagos. (Informe final). Valparaíso: Instituto de Fomento Pesquero. Disponible en: http://190.151.20.106/exlibris/aleph/a23_1/apache_media/KGD12JJJ7CAI9TM2K6YJ44MHB555S4.pdf

Soto, D., F. Jara y C Moreno. 2001. Escaped salmon in the Chiloe and Aysen inner seas, southern Chile: facing ecological and social conflicts. Ecological Applications Vol. 11, No. 6, pp. 1750-1762.

Soto, D., Leon-Muñoz, J., Dresdner, J., Luengo, C.,Tapia, F. & Garreaud, R. 2019. Salmon farming vulnerability to climate change in southern Chile: understanding the biophysical - socioeconomic and governance links. Reviews in Aquaculture 11(2): 354-374 (doi: 10.1111/raq.12336 https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/raq.12336).

Soto, G., Pinilla, E., Soto-Riquelme, C., Reche, P., Arriagada, M., 2019. Modelación de Alta Resolución Aplicada al Transporte Hidrodinámico, al interior del Mar Interior de Aysén, XI Región de Aysén. (Informe final, en revisión). Valparaíso: Instituto de Fomento Pesquero.

Takeoka, H., 1984. Fundamental concepts of exchange and trans- port time scales in a coastal sea. Continental Shelf Research 3, 311–326.Monsen, N.E., Cloem, J.E., Lucas, L.V.

Taranger, G. L., Karlsen, Ø., Bannister, R. J., Glover, K. A *et al*., 2015. Risk assessment of the environmental impact of Norwegian Atlantic salmon farming. ICES Journal of Marine Science, 72: 997–1021.

Thomas F., Espíndola M., Vega A., Gutierrez D., Araya G., Olea G., Cabezas L., Sepúlveda M., Hüne M., Báez P., Avaria S., Saavedra J., Valenzuela M., Gudiño V., Rojas G., Herrera H. 2016. Evaluación y análisis de la biodiversidad marina y continental afectada por las actividades de acuicultura (1era Etapa). Proyecto FIP 2014-48. Informe Final. Centro de Investigación Ecos, 10/2016: 617 pp. http://ecosmar.cl/project/fip-acuicultura-biodiversidad/

Wang *et al.,* 2012, Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. Aquacult. Environ. Interact. 2: 267-283 (https://www.int-res.com/articles/aei2012/2/q002p267.pdf).

101

Universidad de Concepción

Universidad Andrés Bello

Universidad Austral de Chile
Conocimiento y Naturaleza

Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo
Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación
Gobierno de Chile

Centro Interdisciplinario para la
Investigación Acuícola (INCAR)

www.centroincar.cl
www.incar.cl