



Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería en Medioambiente

Magister en Gestión Ambiental

**PROPUESTA DE UN ÍNDICE DE CALIDAD AMBIENTAL APLICADO A LOS CENTROS DE CULTIVO
DE SALMONES UBICADOS EN LA ZONA AUSTRAL DE CHILE.**

TRABAJO FINAL PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

AUTOR: DANIELA PAZ GUAJARDO VALDÉS

PROFESOR GUÍA: Mg. JAVIER ARANCIBIA FORTES

VALPARAISO, NOVIEMBRE 2016

RESUMEN

Chile se ubica en el mundo dentro de los principales productores tanto a nivel pesquero como acuícola, siendo la industria salmonicultora la que concentra mayoritariamente la producción en el país. En este contexto, desde el año 2000, la industria del salmón ha sido ampliamente regulada por parte del Estado de Chile, donde se promulga inicialmente la Política Nacional de Acuicultura (PNA), que determina los lineamientos de la reglamentación en esta área. En el 2001, se dicta el Reglamento Ambiental para la Acuicultura, (D.S. Minecon N°320/2001 y sus modificaciones), el cual, en conjunto con la resolución acompañante, R. Ex. Subpesca N°3612/2009, establecen los requerimientos y exigencias a nivel ambiental, con las cuales deben cumplir los centros de cultivo acuícola, de acuerdo al tipo y nivel de producción de cada centro. En este, además, se fijan las metodologías de muestreo y análisis, parámetros, variables y frecuencias que deben ser monitoreados, entre otros. Posteriormente, y en razón de un importante brote de virus ISA que afectó a la industria salmonera en el 2007, se decreta una reglamentación especial para centros de cultivos de salmónidos (Modificación de Ley 20.434 en Materias Sanitarias), donde se disponen ordenamientos territoriales y control de la producción a fin de resguardar el estatus sanitario de la producción de salmónidos, y también para la protección del medio ambiente.

En la actualidad, y analizando el desarrollo de la industria salmonera durante los últimos 10 años, podemos observar que no ha asumido desarrollo sustentable. Esta ha sido cuestionada, en numerosas ocasiones y por numerosos autores e investigadores, sobre el manejo de sus residuos y disposición final en el medio ambiente, el aporte de nutrientes a través de los restos de alimentos y fecas de los peces, el uso intensivo de antiparasitarios y antibióticos, transmisión de enfermedades hacia poblaciones de peces silvestres, entre otros.

Este trabajo se plantea como una propuesta a fin de incluir en la forma de evaluar la condición ambiental de las áreas donde se desarrollan cultivos de salmónes, una mirada integrada de todos los impactos que en esta se producen, y no solo evaluado el resultado de la medición cada parámetro monitoreado, por sí solo.

ÍNDICE

1.	Introducción	1
1.1.	Caracterización de la actividad de acuicultura	1
1.2.	La acuicultura en Chile	3
1.3.	Cultivo de salmones en Chile	6
1.3.1.	Ciclo de vida de los salmones en su ambiente natural	8
1.3.2.	Descripción del Proceso productivo de cultivo de salmones	9
1.3.3.	Crisis del Salmon.....	12
1.3.4.	Mercado internacional	13
1.4.	Contexto socio ambiental de la industria	14
1.5.	Índices de calidad ambiental	16
1.5.1.	Descripción y utilidad	16
2.	Área de estudio	19
2.1.	Oceanografía y corrientes.....	21
2.2.	Geografía y clima	23
2.3.	Ecosistemas característicos	24
3.	Planteamiento del problema	25
4.	Objetivos	27
4.1.	Objetivo general.....	27
4.2.	Objetivos específicos	27
5.	Metodología	28
5.1.	Levantamiento de información nacional para la identificación y selección de indicadores ambientales aplicados a la salmonicultura	28
5.2.	Índices de calidad ambiental aplicados a la acuicultura.....	28
5.3.	Análisis comparativo de la normativa nacional con la internacional respecto a indicadores ambientales aplicados a la actividad salmonicultora	29
5.4.	Elaboración de un índice de calidad ambiental aplicado a los centros de cultivo de salmones	29

6.	Resultados	31
6.1.	Selección de indicadores ambientales utilizados para evaluar el impacto ambiental de las salmoneras.....	31
6.1.1.	Reglamento Ambiental para la Acuicultura, D.S. MINECON N°320/2001 (RAMA) 32	
6.1.2.	Resolución que fija las metodologías para elaborar la caracterización preliminar de sitio (CPS) y la Información ambiental (INFA), R. Ex. Subpesca N° 3612/2009.....	34
6.1.3.	Reglamento de medidas de protección, control y erradicación de enfermedades de alto riesgo para las especies hidrobiológicas D.S. Minecon N°319 de 2001.....	35
6.2.	Índices de calidad ambiental aplicados al cultivo de salmones	42
6.3.	Análisis comparativo de las normativas internacionales y nacionales.....	47
6.3.1.	Legislación nacional	47
6.3.2.	Legislación internacional	48
6.3.3.	Análisis comparativo.....	57
6.4.	Bases metodológicas y diseño de un Índice de Calidad Ambiental para ser aplicado a los centros de cultivo de salmones.....	59
6.4.1.	Selección de indicadores simples y agrupación por área temática	60
6.4.2.	Desarrollo y construcción del índice de calidad ambiental.....	63
7.	Discusión	67
8.	Conclusiones.....	69
9.	Bibliografía	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especies cultivadas en Chile, clasificadas por grupo y según región donde se desarrolla el cultivo. Elaborada con información proporcionada por el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura.	5
Tabla 2. Normativa nacional analizada en el ámbito de la acuicultura con lineamientos ambientales. Se presenta nombre de cada una y breve descripción de la misma, destacando lo relacionado con las exigencias de carácter ambiental.	32
Tabla 3. Tipos de Categorías establecidas para cada uno de los centros de cultivo, de acuerdo al tipo de cultivo, profundidad y tipo de sustrato de fondo. Se presentan los indicadores ambientales (parámetros) solicitados por cada tipo de categoría, según lo establecido en D.S. N° Minecon N°320/2001 y sus modificaciones.	37
Tabla 4. Rangos de aceptabilidad estipulados para cada uno de los parámetros solicitados por las INFA, según lo establecido por la R. Ex. Subpesca N°3612/2009.	38
Tabla 5. Listado de los parámetros seleccionados desde la revisión de la normativa nacional, y descripción de su utilidad desde el punto de la información proporcionada.	40
Tabla 6. Modelos utilizados para cuantificar el impacto de las actividades de cultivo de peces. Se describe la función de cada uno, los parámetros utilizados como <i>input</i> para su uso, y el resultado entregado de la aplicación de este. Desarrollado a partir de información de Tapia y Giglio 2010 e IFOP 2015.	46
Tabla 7. Comparación de principales aspectos y exigencias en el ámbito ambiental, entre las normativas acuícolas de Chile, Canadá y Noruega.	56
Tabla 8. Parámetros seleccionados para ser incluidos como indicadores simples para conformar el índice de calidad ambiental, y clasificados por ámbito en donde se realiza la medición. Cabe señalar que estos parámetros fueron seleccionados debido a que cumplen con los criterios según lo señalado por Escobar 2006.	62

Tabla 9. Calificación de los impactos como positivos o neutros, o negativos, según los valores cualitativos o cuantitativos, según corresponda, que alcanzan los diferentes parámetros que integran el índice de calidad ambiental propuesto.....64

Tabla 10. Clasificación del estado ambiental de los centros de cultivos de salmones, según resultados de la aplicación del Índice de calidad Ambiental propuesto.....66

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Producción de la Pesca de Captura y la Acuicultura. Se observa que existe un notable desarrollo de la acuicultura durante las últimas décadas. Fuente FAO 2016.....2

Fig. 2. Porcentaje de toneladas de cosechas por grupo de especies cultivadas en el país, según registro de los Anuarios Estadísticos de Pesca del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, para el año 2014. Se observa que el grupo de los salmónidos, representa casi un 80% del total de las cosechas.6

Fig. 3. Porcentaje de número de centros de cultivo de salmones distribuidos por en las regiones australes, según cifras entregadas por IFOP, para el año 2015. Se observa que para el año en comento, la mayor parte de los centros de cultivo de salmones se ubicaban en la Región de Aysén, dejando a la Región de Los Lagos en segundo lugar.7

Fig. 4. Ciclo de vida de los salmones en su ambiente natural (fte. <http://www.patagoniafishingguide.com/adm/newsletters/BOLETIN7Salmonidos.pdf>)9

Fig. 5. Esquema general del proceso productivo del cultivo de salmónidos en la zona austral de Chile, según información recopilada desde la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.11

Fig. 6. Toneladas producidas por la industria del salmón hasta el 2012, según lo señalado por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Se observa la caída en la producción desde el 2007 al 2010, donde posterior a ese año, la industria ya comienza a mostrar signos de recuperación.13

Fig. 7. Concesiones de salmones presentes entre la región de Los Lagos y Magallanes. Se presentan en color naranja y se observa una mayor concentración de estas en la Región de Los Lagos, según información de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura para el año 2015. .20

Fig. 8. Esquema de corrientes presentes en la costa chilena, tomado de CONAMA 2008. Se observa la distribución de este a oeste de las distintas corrientes costeras.22

Fig. 9. Balsas jaulas de cultivo de salmones. Se observan las diferentes estructuras de cultivo donde se realiza la siembra de salmones. Es en base a estas estructuras, que se desarrolla el cálculo densidades máximas permitidas para siembra, según lo estipulado por el D.S. Minecon N°319/2001.44

1. Introducción

1.1. Caracterización de la actividad de acuicultura

Acuicultura se define como una actividad de carácter productivo, en la cual se crían organismos acuáticos (peces, moluscos, crustáceos y/o plantas) con intervención humana para incrementar su producción mediante la concentración de los individuos a cultivar y evitando el ataque de depredadores sobre estos, la cual tiene como finalidad la generación de recursos hidrobiológicos para beneficio del hombre, ya sea para su alimentación u otros fines (Subsecretaría de Pesca, 2003; FAO, 2003). Se observa además que ante el estancamiento de los rendimientos pesqueros extractivos y el aumento de la demanda de pescado y productos pesqueros, se ha generado una gran expectativa de que la acuicultura pueda incrementar la producción mundial de alimentos de origen acuático (FAO, 1999).

La acuicultura se describe actualmente como uno de los sistemas de producción alimentaria de más rápido crecimiento en el mundo durante las últimas décadas (Fig. 1), observando un elevado desarrollo en términos de cifras durante los últimos años, siendo en el año 2012 donde se alcanza un 90,4 millones de toneladas, siendo aproximadamente un 73,8% la producción de peces comestibles y un 26,3% plantas acuáticas, principalmente algas comestibles (Toledo & Yurisch, 2015; FAO, 2003; FAO, 1999, FAO, 2016). La mayor parte de la producción de peces en acuicultura se destina a consumo humano, sin embargo muchos de sus subproductos se pueden o no utilizarse para otros fines que no son necesariamente la alimentación humana (FAO, 2016). Las formas de producción varían mucho en sus en relación donde estas se realicen. Existen formas de producción más artesanales donde el cultivo se realiza en campos de arroz con agua dulce en VietNam, cultivos de camarones en agua salada en Ecuador, y cultivo en balsas jaulas en medios marinos en el caso de Escocia o Noruega (FAO, 2003).

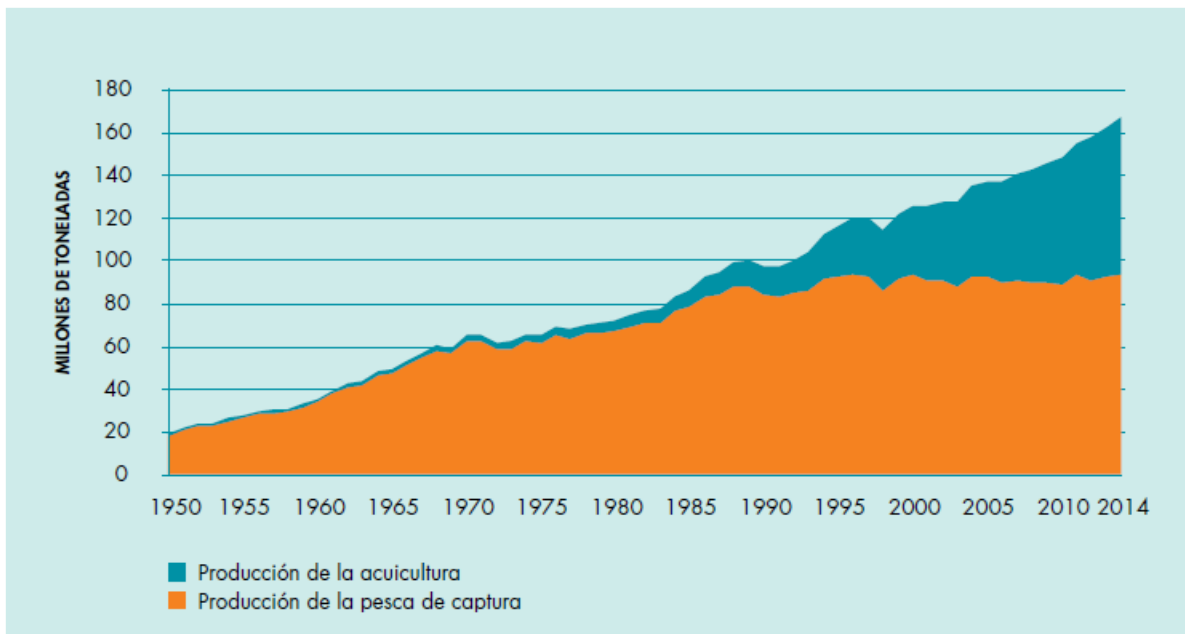


Fig. 1. Producción de la Pesca de Captura y la Acuicultura. Se observa que existe un notable desarrollo de la acuicultura durante las últimas décadas. Fuente FAO 2016.

Según las cifras a nivel mundial, se puede observar que 15 países concentran el 92,7% de la producción de peces comestibles cultivados en 2012, siendo China el mayor productor a nivel mundial con un 61,7% del total, manteniendo de esta forma una gran distancia de su seguidor la India, que representa tan sólo un 6,3% de la producción mundial. Durante este año Chile y Egipto lograron convertirse en grandes productores superando el millón de toneladas, de esta forma Chile se encuentra entre los 10 primeros productores a nivel mundial contribuyendo con un 1,6% de esta, y es el primer productor de Latinoamérica, proviniendo fundamentalmente de cultivos marinos (FAO, 2016; Toledo & Yurisch, 2015). Lo anterior obedece también a una tendencia mundial, donde la pesca de captura tanto continental como marina, se ha visto en un paulatino decrecimiento desde los años 1980 a la fecha. Debido principalmente a que la mayoría de las especies sujetas a explotación se ha visto alcanzada en su potencial máximo de captura, y por ende las poblaciones se encuentran su máximo nivel de explotación; es entonces donde la producción acuícola se está aumentando en sus niveles productivos durante el mismo periodo antes señalado (Subsecretaría de Pesca, 2003)

Considerando el cultivo por especie, existen varios países con una muy baja capacidad de diversificación, concentrando su cultivo en un solo tipo; estos son India, Indonesia, Bangladesh, VietNam, Egipto, Myanmar y Brasil, quienes desarrollan principalmente el cultivo a nivel continental de agua dulce y de peces (Toledo & Yurisch, 2015). Por su parte Noruega, depende principalmente del cultivo de peces en cultivo marino, Japón y Corea son productores principalmente de moluscos abarcando más de la mitad de su producción, Tailandia desarrolla principalmente el cultivo de crustáceos el que corresponde a la mitad de su producción, Filipinas desarrolla mayoritariamente el cultivo de peces de escamas tanto a nivel marino como continental, y China se escapa de la tendencia mundial debido al nivel de producción alcanzado y la gran diversidad de especies cultivadas (Toledo & Yurisch, 2015).

1.2. La acuicultura en Chile

La acuicultura chilena puede ser descrita en su evolución, en 3 grandes periodos (Subsecretaría de Pesca, 2003):

- a) De 1850 a 1920: se introducen algunas especies exóticas (carpas, pejerreyes y truchas), con fines recreacionales y ornamentales.
- b) De 1921 a 1973: mayores esfuerzos orientados a la creación de centros de cultivo de ostras, incentivo del “ranching” de salmónidos (pesca basada en peces de cultivo libreados al medio para su captura), y la elaboración de planes centrales para el desarrollo de la actividad de acuicultura. También durante este periodo se desarrolla un fortalecimiento de las capacidades humanas y de instituciones de investigación y académicas.
- c) De 1974 a la fecha: se desarrolla y crece la acuicultura con fines comerciales, a partir de la política nacional que potencia la actividad privada y la entrada a mercados internacionales. A partir de la década de 1980 la actividad de cultivo se desarrolla de manera comercial en el país, ubicándose principalmente en zonas rurales especialmente en las regiones de Los Lagos y Aysén. Durante este periodo además, se desarrollan cultivos comerciales de moluscos, peces y algas, orientadas al mercado internacional.

La acuicultura de Chile es muy similar a la de Noruega ya que depende en gran medida del cultivo marino de peces; aun cuando presenta un mayor grado de diversificación ya que existe una importante producción de moluscos (Toledo & Yurisch, 2015). De todas formas esta se encuentra poco diversificada en cuanto a especies, concentrándose su producción en especies salmonideas, principalmente en espacios marinos costeros, y con una producción en lagos y ríos de las etapas tempranas de desarrollo de estas especies (Toledo & Yurisch, 2015). En un breve periodo de tiempo se ha transformado en la cuarta actividad económica de importancia para el país, posicionándose por sobre la actividad de pesca extractiva en términos de volumen de producción y exportaciones (Bermúdez, 2007).

En el año 2003 se emite la Política Nacional de Acuicultura (D.S. N°125 de 2003, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción), la cual constituye un marco o instrumento directivo, creado para sentar las bases del desarrollo de la actividad a nivel nacional fijando lineamientos generales a través de los cuales debería desarrollar la actividad, demostrando así la importancia de esta actividad en el ámbito de la economía nacional (Bermúdez, 2007). Esta establece como objetivo principal *“Promover al máximo nivel posible el crecimiento económico de la acuicultura chilena en el tiempo, en un marco de sustentabilidad y equidad de acceso a la actividad”* (Subsecretaría de Pesca, 2003). En ella se plasman las tareas tanto para las instituciones públicas como para las privadas (Bermúdez, 2007). Sin embargo, este resultó ineficaz para la orientación de conductas responsables por parte de la industria (Fuentes, 2014).

La acuicultura se define según la Ley de Pesca y Acuicultura en su art. N° 2, numeral 3, como la actividad que tiene por objeto la producción de recursos hidrobiológicos organizada por el hombre. En Chile se basa principalmente en el uso de recursos naturales y genera distintos impactos, los cuales dependen del tipo de cultivo, el nivel de producción, del sector de emplazamiento, el entorno circundante, entre otros factores (Fuentes, 2014). En este sentido es de esperar que esta actividad genere impactos o externalidades negativas, las cuales deben ser prevenidas y controladas por el estado, y de allí que se trate de una actividad regulada (Fuentes, 2014).

La acuicultura es una actividad productiva que puede ser calificada de reciente en Chile, dado que su historia apenas excede los 30 años a escala comercial (Fuentes, 2014). Las primeras experiencias se remontan a la década de los años setenta con proyectos pilotos realizados con el apoyo de Fundación Chile (Fuentes, 2014)

En Chile se cultiva a nivel comercial 17 especies (Tabla 1), siendo el cultivo de salmónidos y el de mitílidos los de mayor importancia en términos de volumen y retorno económico. Nuestro país se desataca a nivel mundial en términos del cultivo de salmones, alcanzando el segundo lugar, luego de Noruega en volumen de producción de Salmon atlántico (*Salmo salar*). En relación a las otras especies cultivadas, estas tienen una menor escala de desarrollo en términos de volumen, con un porcentaje de producción bastante menor en relación al cultivo de salmónidos (Fig. 2).

Tabla 1. Especies cultivadas en Chile, clasificadas por grupo y según región donde se desarrolla el cultivo. Elaborada con información proporcionada por el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura.

Grupo	Especie	Regiones donde se cultiva
Algas	Pelillo (<i>Gracilaria chilensis</i>)	II, III, IV, V, VIII, XIV, X
	Huiro (<i>Macrosistis</i> spp)	III
Microalgas	Haematococcus	I, IV
Moluscos	Chorito (<i>Mytilus chilensis</i>)	VIII, XIV, X
	Cholga (<i>Aulacomya ater</i>)	VIII, X
	Choro zapato (<i>Choromytilus chorus</i>)	IX, XIV, X
	Ostión del norte (<i>Argopecten purpuratus</i>)	III, IV
	Ostra chilena (<i>Ostrea chilensis</i>)	X
	Abalón rojo (<i>Haliotis rufescens</i>)	III, IV, V
	Abalón japonés (<i>Haliotis discus hannai</i>)	III
	Ostra pacífico (<i>Crassostrea gigas</i>)	IV, VIII, IX, X
Peces	Salmón Atlántico (<i>Salmo salar</i>)	IX, XIV, X, XI, XII
	Salmón Pacífico (<i>Oncorhynchus kisutch</i>)	IX, XIV, X, XI, XII
	Trucha Arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	IX, XIV, X, XI, XII
	Salmon Rey (<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>)	IX, XIV, X, XI, XII
	Turbot (<i>Scophthalmus maximus</i>)	X

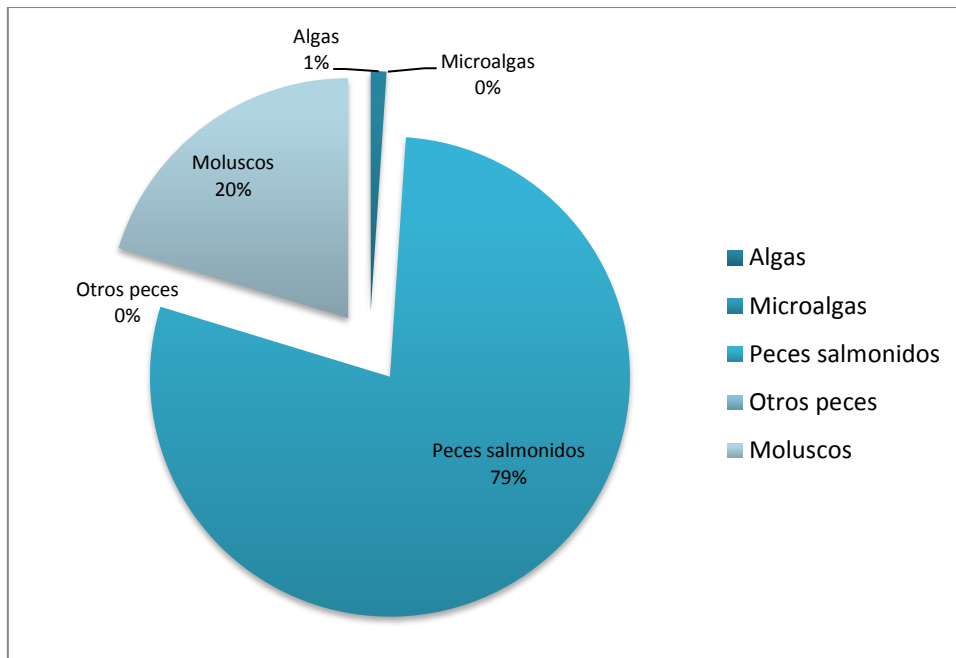


Fig. 2. Porcentaje de toneladas de cosechas por grupo de especies cultivadas en el país, según registro de los Anuarios Estadísticos de Pesca del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, para el año 2014. Se observa que el grupo de los salmónidos, representa casi un 80% del total de las cosechas.

1.3. Cultivo de salmones en Chile

Chile es el segundo mayor productor de salmones a nivel mundial, luego de Noruega y el primero a nivel Americano (IFOP, 2015). En Chile el cultivo se realiza principalmente sobre 4 especies, todas introducidas y sin parientes nativos en el país: Salmón atlántico (*Salmo salar*), Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), Salmón Coho (*Oncorhynchus kitutch*), y Salmón Rey o Chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*). La obtención de ovas y smolts se realiza en agua dulce desde la región metropolitana al sur, aun cuando las ovas pueden ser importadas desde otros países productores (Canadá, Noruega, Dinamarca, etc). La actividad de engorda se realiza en las zonas marítimo costeras de las regiones más australes, en específico las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes.

En Chile la industria se ha desarrollado de manera importante, siendo a la fecha los segundos productores mundiales en términos de volumen (FAO, 2016). El cultivo se desarrolla

replicando este ciclo de vida en ambientes controlados, para lo cual es fundamental conocer cada una de estas etapas y sus características.

El cultivo hasta el año 2007 se concentraba principalmente en la Región de Los Lagos, posterior a esta fecha y producto de la crisis sanitaria provocada por el brote del virus de Anemia Infecciosa del Salmón o ISA por sus siglas en inglés, la producción y cosecha se ha trasladado a la de región de Aysén, observándose en el año 2013 que ambas regiones concentraban el 97% de las cosechas (Toledo & Yurisch, 2015). Actualmente existe un total de 1.290 concesiones distribuidas en las regiones de Los Lagos, Aysén, y Magallanes, las que se distribuyen porcentualmente en 39%, 55% y 6% respectivamente por región (Fig. 3) (IFOP, 2015).

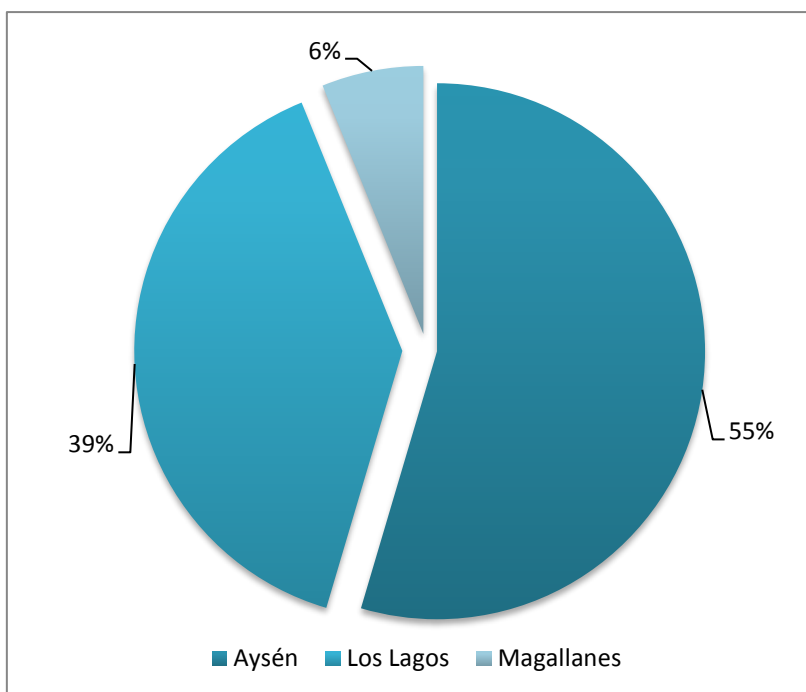


Fig. 3. Porcentaje de número de centros de cultivo de salmónes distribuidos por en las regiones australes, según cifras entregadas por IFOP, para el año 2015. Se observa que para el año en comento, la mayor parte de los centros de cultivo de salmónes se ubicaban en la Región de Aysén, dejando a la Región de Los Lagos en segundo lugar.

El salmón atlántico (*S. salar*) es la especie más cultivada en el país, seguida en menor medida por el salmón coho (*O. kisutch*) y la trucha arcoíris (*O. mykiss*).

1.3.1. Ciclo de vida de los salmones en su ambiente natural

Las especies salmónidas son especies anádromas (pueden vivir en agua dulce y salada en etapas distintas de su vida), que se distribuyen naturalmente en el hemisferio norte. La principal característica de su ciclo está dada por su retorno a su lugar de nacimiento (eclosión), para reproducirse. En este sentido el ciclo se compone de las siguientes etapas (Fig. 4):

- a) **Desove;** los ejemplares adultos remontan a los ríos de su nacimiento con el objeto de reproducirse. La hembra prepara un nido en sectores de grava con buen recambio de agua a fin de asegurar una buena oxigenación, donde deposita los óvulos seguida del macho que expulsa su esperma. Una vez producida la fertilización la hembra tapa los huevos con grava.
- b) **Huevos;** corresponde a las ovas fertilizadas. En etapas incipientes estas ovas fertilizadas se llaman huevos verdes, y corresponde a la etapa previa a la visualización de los ojos, la cual se denomina huevos con ojos o huevos embrionados. Esta se caracteriza por presentar 2 manchas negras (ojos) dentro de este espacio semi traslucido, los que aparecen en la mitad del periodo de incubación. El desarrollo de estos embriones es variable, y depende en gran medida de la temperatura del agua.
- c) **Alevinaje,** corresponde a los ejemplares recién eclosionados que en un inicio mantiene su saco vitelino. Este va siendo consumido paulatinamente en su totalidad hasta que el pez ya es capaz de alimentarse por sí solo.
- d) **Smolts,** los alevines continúan con su desarrollo en agua dulce por alrededor de 2 años dependiendo de la especie. Posterior a ese periodo estos sufren una gran cantidad de cambios fisiológicos que les proporcionan las características necesarias para su migración y posterior ingreso al agua de mar. Este proceso se denomina smoltificación.
- e) **Adultos,** ya han migrado al mar y se mantienen en este ambiente hasta alcanzar su madurez sexual, donde remontarán los ríos donde nacieron para iniciar un nuevo ciclo.

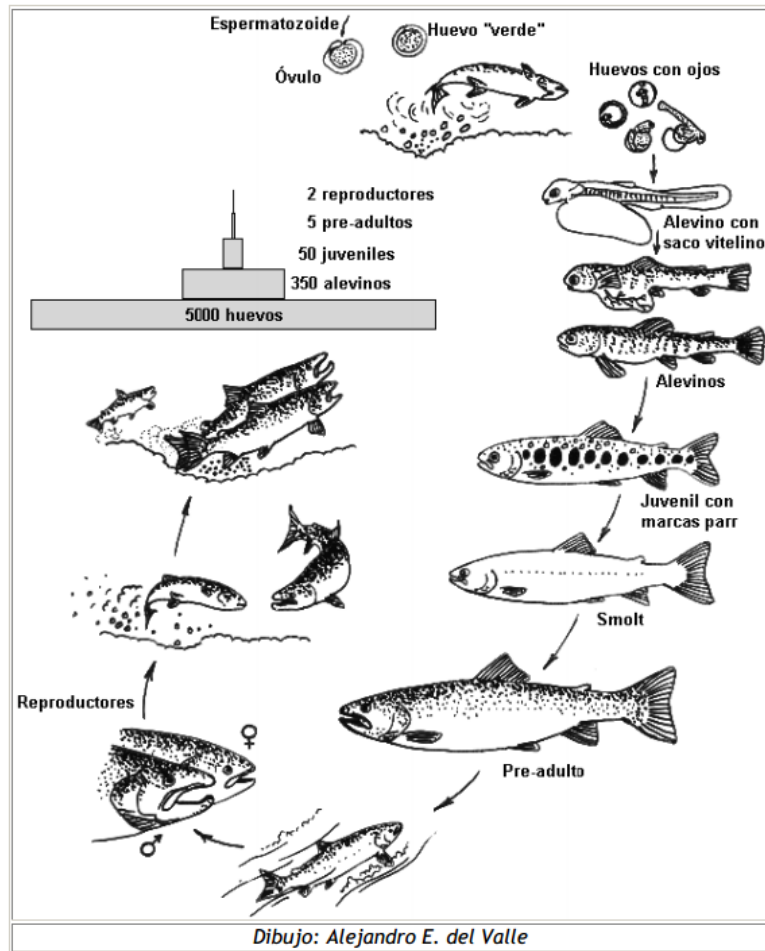


Fig. 4. Ciclo de vida de los salmones en su ambiente natural (fte. <http://www.patagoniafishingguide.com/adm/newsletters/BOLETIN7Salmonidos.pdf>)

1.3.2. Descripción del Proceso productivo de cultivo de salmones

El proceso se caracteriza por replicar el ciclo de vida natural de los salmones. Este proceso tiene una duración de aproximadamente 2 años, y consta de varias etapas, que serán descritas a continuación (Fig. 5).

Reproductores y obtención de ovas

Se seleccionan adultos de aproximadamente 3 a 4 años de edad, a los cuales se les extrae su material reproductivo, para ser fertilizado en una proporción de 3 hembras cada 1 macho. La extracción se realiza de manera manual por un operario para ser depositado en bateas donde se realiza la fertilización. Una vez realizado este proceso, se obtienen alrededor 80% de ovas fertilizadas las que se denominan ovas verdes, las que son almacenadas en recipientes como agua circulante y una sustancia anti fúngica. Pasado 20 días se obtiene la larva con ojo, y se procede realizar una selección de ovas de buena calidad a través del proceso mecánico llamado shocking, por el cual estas se golpean con agua y posteriormente se retiran las ovas muertas o de mala calidad. Posterior a esta selección, se mantiene en incubación, solo con agua circulante hasta que eclosionen y sea consumido totalmente su saco vitelino.

Alevinaje

Una vez consumido este saco se procede a la primera alimentación, donde se transfieren a contenedores de mayor volumen, y se mantienen en condiciones de alimentación, temperatura y luz óptima para su desarrollo. Durante todo este periodo se realizan procesos de selección en base a tamaño/peso, a fin de optimizar la entrega de alimento en función del tamaño de boca de los individuos. Al alcanzar los 30 gr. reciben su primera dosis de vacuna vía intrperitoneal, contra enfermedades bacterianas y virales.

Smoltificación

Entre los 50 a 80 grs. comienza el proceso de smoltificación, donde ocurren variados cambios fisiológicos en el pez. En este periodo y como inducción a este estado, se les mantiene con ciclo diario completo de luz.

Engorda

Una vez alcanzados los 100 grs. y terminado el proceso de alevinaje los individuos están listos para ser trasladados al agua de mar. Todas las etapas anteriores se desarrollan en agua

dulce. El traslado se realiza a través de contenedores cerrados con provisión de oxígeno. Son introducidos a barcos cisternas especiales para traslado de peces hasta los centros de cultivo donde se introducen en balsas jaulas. En esta etapa se les entregan los requerimientos nutricionales y sanitarios para su desarrollo óptimo. Su crecimiento estará dado principalmente por la temperatura del agua, la disponibilidad de luz y el alimento. Esta etapa puede durar entre 10 y 12 meses para truchas y cohos, y entre 12 y 18 para salares.

Cosecha

Una vez alcanzados el peso/tamaño estándar para cada especie se procede a la cosecha. Esta se puede realizar en el mismo centro, o en centros en tierra, para lo que son transportados en barcos cisternas. El peso de cosecha también depende de la especie y es de 2.4 a 3.3 kg en truchas y cohos, y 3 a 7 kg en salares.

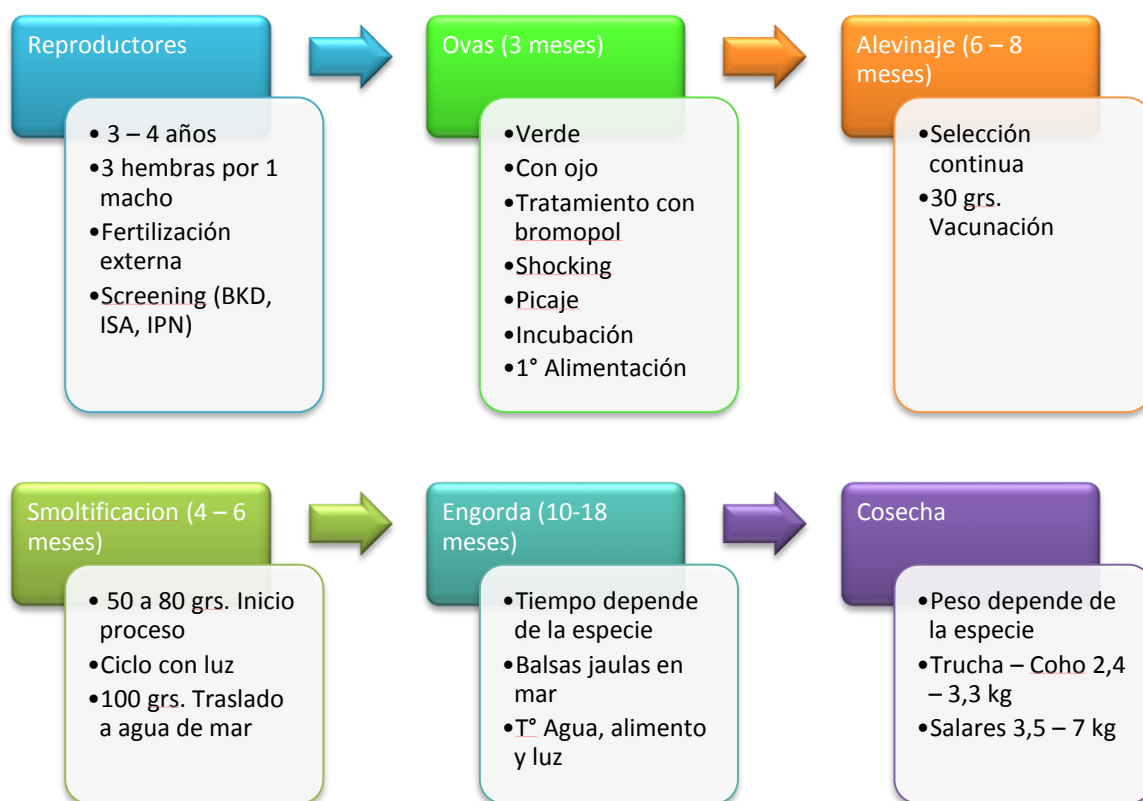


Fig. 5. Esquema general del proceso productivo del cultivo de salmónidos en la zona austral de Chile, según información recopilada desde la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

1.3.3. Crisis del Salmon

Tal como se señala en el punto anterior, durante el año 2007 se produce una profunda crisis sanitaria que afectó a la industria chilena del cultivo del salmón (Bravo, 2012). Esta crisis dada por un violento brote del virus ISA, provocó una drástica disminución en la producción de Salmon Atlántico (*S. salar*) en el 2009 principalmente en la región de Los Lagos, afectando negativamente la imagen exitosa de la industria (Bravo, 2012). Esta crisis se desencadena producto, inicialmente, de un importante incremento en la carga parasitaria de caligus o piojo de mar (*Caligus rogercresseyi*) en salmones de cultivo de la especie *S. salar*, cultivada principalmente en Chile, los que fueron afectados posteriormente por brote de ISA (Toledo & Yurisch, 2015). Aun cuando la crisis se inicia en el 2007, es en el año 2009 donde se observa una gran caída en cosechas en la Región de Los Lagos y posteriormente en el 2010 en la región de Aysén (Toledo & Yurisch, 2015; Bravo, 2012).

Esta crisis sanitaria, tuvo graves consecuencias sobre el volumen y el tipo de producción, lo que repercutió a nivel ambiental y laboral, debido al cierre de numerosas plantas de proceso y centros de cultivo, con graves consecuencias sociales (Toledo & Yurisch, 2015). En específico se observó una baja en la producción (Fig. 6), debido a la alta mortalidad de peces, por ende un menor volumen a ser procesado, sumado a la cosecha anticipada con la imposibilidad de nuevas siembras, repercutió en desvinculaciones masivas tanto en centros de cultivo como en plantas de procesamiento (Toledo & Yurisch, 2015). Como consecuencia de la crisis se observa la caída más drástica en las cosechas, el 2009 en la región de Los Lagos, ya es en ese periodo donde se observa que un 75% de los centros de salmónidos se encontraban inactivos, y posteriormente se comienza a incentivar la actividad de cultivo en las regiones de Aysén y Magallanes, observándose para el año 2012 un aumento en un 51 y 254% de las cosechas respectivamente para cada región, con respecto al año anterior (Toledo & Yurisch, 2015). Una de las consecuencias de la crisis, se relaciona con la descentralización de la producción desde la región de Los Lagos hacia la región de Aysén, buscando así evitar la propagación de enfermedades, y ya en 2013 Aysén superó las cosechas de la región de Los Lagos para ese mismo año (Toledo & Yurisch, 2015).

Otra de las consecuencias que se observa posterior a esta crisis, es la no existencia en el país de un plan de contingencia frente a enfermedades infecciosas de alto riesgo, aun cuando información relativa a esta enfermedad se encontraba disponible en los diferentes países donde el virus si se encontraba presente, ni las regulaciones sanitarias necesarias para enfrentar rápida y efectivamente este brote (Bravo, 2012).

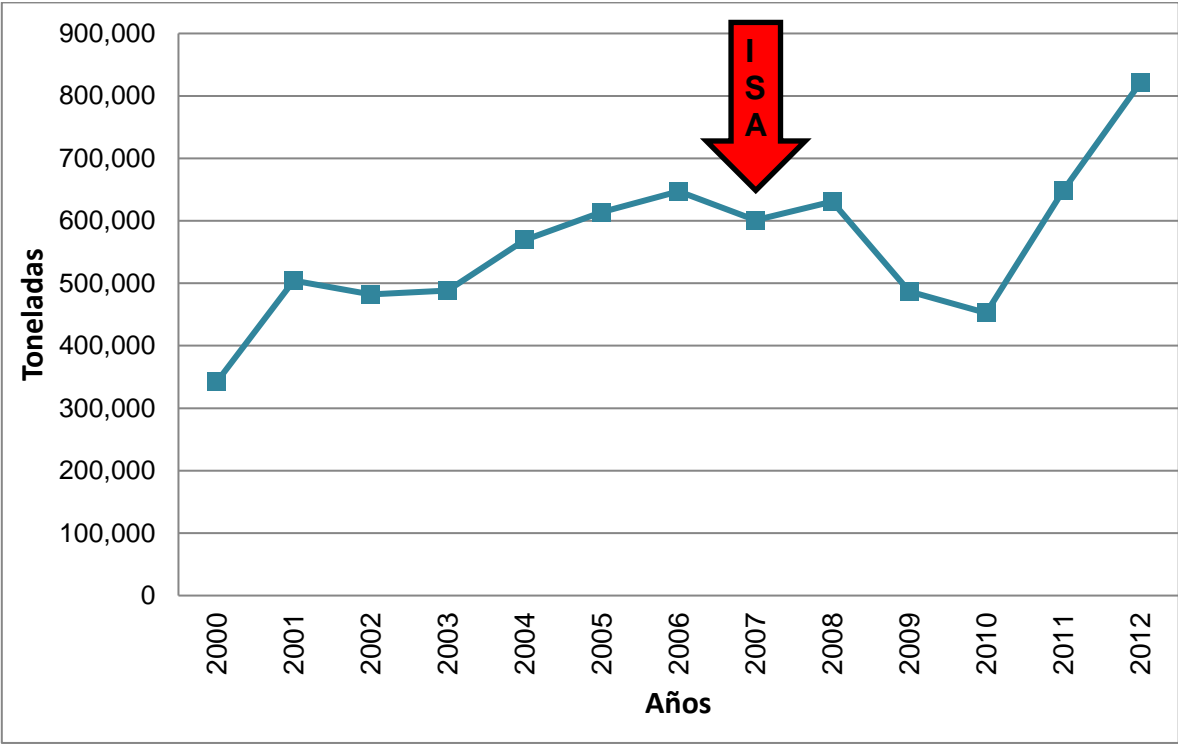


Fig. 6. Toneladas producidas por la industria del salmón hasta el 2012, según lo señalado por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Se observa la caída en la producción desde el 2007 al 2010, donde posterior a ese año, la industria ya comienza a mostrar signos de recuperación.

1.3.4. Mercado internacional

La mayor parte de las especies de salmónidas producidas en Chile, son para abastecer el mercado internacional. En el año 2013, de las 3 especies de cultivo, se establece que el 71% de las cosechas fueron exportadas (Toledo & Yurisch, 2015). Para el periodo de producción comprendido entre el 2008 y 2012, el principal mercado de destino fue el mercado Japonés, y en el 2013, el mercado norteamericano, seguidos por Brasil y China (Toledo & Yurisch, 2015). Cabe señalar además que también para el 2013, el mercado latinoamericano

representó cerca del 19% para la exportación de salmones (Bermúdez, 2007; Toledo & Yurisch, 2015).

1.4. Contexto socio ambiental de la industria

Aun cuando esta industria ha aportado durante las últimas décadas al desarrollo económico de las regiones más australes del país, existen variadas problemáticas fruto de un crecimiento acelerado. La actividad acuícola, tal como cualquier otra actividad económica desarrollada en el país, se debe regir por las normas generales de derecho ambiental vigente, en este sentido las que son aplicables sobre esta actividad corresponden a la disposiciones relativas al Sistema Evaluación de Impacto Ambiental, las Normas de Emisión y todas las normas contenidas en la Ley de Bases del Medio Ambiente y los reglamentos contenidos en esta (Bermúdez, 2007).

En este sentido, se describen que las principales problemáticas se asociadas a la liberación y desregularización de la pesca y acuicultura (Toledo & Yurisch, 2015). Entre las problemáticas descritas se señala la precarización laboral dada por la subcontratación, y condiciones laborales inadecuadas principalmente las que tienen relación con los procesos productivos en que se maquila (Toledo & Yurisch, 2015). En lo ambiental se describen distintas problemáticas, entre las que se describen riesgos para la salud humana por el uso excesivo de antibióticos, transformaciones profundas en los territorios, aporte de materia orgánica a los sedimentos del fondo marino, precario control de enfermedades, presión sobre los bancos de peces para producir alimentos para los salmones, entre otros (Muñoz, 2009; Toledo & Yurisch, 2015).

Contexto social de la acuicultura

Debido a los cambios que están experimentando los mercados internacionales a nivel global, se observan modificaciones en las cadenas productivas, como consecuencia de la globalización y mayor desarrollo del comercio internacional. En este sentido, la producción ya no siempre se realiza en el mismo lugar donde se elabora y/o consume los productos.

Sumado a lo anterior, existen nuevas políticas de comercio internacional que permiten externalizar los costos negativos de la producción (Toledo & Yurisch, 2015).

Todo lo descrito anteriormente ha traído algunas consecuencias a las comunidades aledañas donde se emplazan las actividades productivas, producto principalmente de la desregularización de las actividades productivas. Entre estas consecuencias se encuentran: la precarización del empleo vinculado a la subcontratación (tercerización del empleo), condiciones laborales inadecuadas (sin amparo legal ni seguridad social) (Toledo & Yurisch, 2015).

1.5. Índices de calidad ambiental

1.5.1. Descripción y utilidad

Un indicador se define como una representación numérica que sintetiza información de un periodo y permite explicar cambios de ciertos fenómenos en el tiempo. Los indicadores pueden ser utilizados para medir diversos aspectos de la sociedad, la economía, o el medio ambiente (Lerma 2011; Escobar, 2006). Una de las mayores utilidades de estos indicadores es que deben permitir medir, evaluar y monitorear cambios e impactos en el estado y calidad de los aspectos a evaluar. Los indicadores tienen especial utilidad en aspectos relacionados con la gestión, entrega información útil sobre tendencias en el tiempo, y puede permitir inferir sobre el comportamiento de la sociedad (Escobar, 2006). Primariamente es necesario distinguir entre indicadores simples e índices; los primeros están constituidos por la combinación de 2 o más datos o parámetros, y los índices están conformados por 1 o más indicadores los cuales se convierten a un índice mediante una función matemática que tiene por objetivo sintetizarlos.

Índices de calidad, permiten asignar un valor a la calidad utilizando un número limitado de parámetros. Tienen la ventaja de ser fáciles de utilizar y entregan una idea rápida e intuitiva de la calidad, pero son arbitrarios y pueden inducir a errores debido a su reduccionismo. Al utilizar otros índices complementarios se tiene una idea más adecuada y completa de la calidad (Lerma, 2011).

Los datos o información ambiental es el principal componente en la generación de índices, los cuales contienen el registro de alguna variable de interés (Gross & Hajek, 1998), y el éxito del sistema de indicadores estará dado por la calidad de los datos utilizados. Estos son maneras directas o indirectas para determinar la calidad del medioambiente, y se pueden utilizar para determinar la situación actual o tendencias en la capacidad del ambiente para sustentar la salud ecológica y humana (Lerma, 2011). Se definen también como un *input* en la formulación de política ambiental, y que permiten resumir gran cantidad de datos para

facilitar la comunicación de las situaciones ambientales a diferentes grupos sociales (Escobar, 2006).

Según lo señalado en el texto de (Escobar, 2006), señala que de acuerdo a Pender *et al* 2000, los índices son una herramienta cuantitativa que simplifica a través de modelos matemáticos los atributos y pesos de múltiples variables, con la intención de proporcionar una explicación más amplia de un recurso o el atributo a evaluar o gestionar. El autor además señala que lo más importante es que este índice debe ser consistente.

Índices de calidad, son herramientas que permiten asignar un valor de calidad al medio a partir del análisis de diferentes parámetros. Su combinación da una visión más precisa del estado ecológico y el estado del medio biológico. Además, ayudan a construir una percepción pública sobre problemas complejos, informan sobre la tendencia de ciertos fenómenos ambientales, sirven como herramientas para evaluar la efectividad de las decisiones de la gestión pública, permite simplificar situaciones ambientales complejas

Los indicadores simples o sintéticos juegan un importante en la política pública ya que ayudan a construir percepción pública a problemas complejos. Además proveen información cuantitativa para evaluar la efectividad de las alternativas de decisión pública (Escobar, 2006).

Según lo señalado por Escobar 2006, realizar la selección de los indicadores apropiados conlleva un entendimiento del sistema o fenómeno que se desea interpretar, lo cual se torna complejo cuando se trabaja en sistemas naturales. Por ello la selección de indicadores no debe estar solo dada de acuerdo a la interpretación científica o sociológica de la problemática a interpretar, sino que también se debe contar con información que permita interpretar la problemática desde una perspectiva analítica.

No siempre o no es correcto buscar una correlación entre los parámetros observados o registrados (físicoquímicos), con los indicadores biológicos o bioindicadores. Existen otros efectos que pueden no observarse inmediatamente en esta correlación como es el factor de

la bioacumulación o la atemporalidad de los muestreos (se vean efectos en lo biológico pero no se observen en los parámetros o vice versa).

En el caso de Chile, el Ministerio del Medio Ambiente a través de la plataforma del Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA¹), recopila toda la información ambiental de la cual dispone el sistema público, en la cual se encuentran algunos indicadores simples de algunos aspectos ambientales (*i.e.* concentración ozono, emisiones al aire, exposición al ruido, entre otros). Este sistema se conforma así como un repositorio de información y como un instrumento de difusión de la misma, la cual permite mediante su acceso tanto a usuarios particulares como a instituciones de carácter público, apoyar la toma de decisiones en temáticas de carácter ambiental, tanto a nivel regional como nacional. Parte de la información aquí contenida, comprende algunos indicadores y estadística ambientales relacionadas con las diferentes temáticas abordadas y de competencia del Ministerio de Medio Ambiente, tales como Patrimonio Ambiental, Estado del medio Ambiente, Riesgos para la Salud y Calidad de Vida para la Población, Participación Ciudadana, Instrumentos de Gestión, Cambios Atmosféricos Globales y Educación Ambiental. Cabe mencionar.

¹ <http://sinia.mma.gob.cl/>

2. Área de estudio

Como ya se indica en el documento, la mayor parte de la industria se localiza en la zona sur del país, principalmente en zonas de canales y fiordos, desde la región de Los Lagos a la región de Magallanes (Fig. 7), principalmente por la calidad de las aguas y de la geomorfología del sector que otorga protección a las estructuras donde se desarrollan los cultivos. En este sentido, es necesario poner atención, ya que estos ecosistemas se convierten en sistemas sensibles y potencialmente vulnerables al impacto de la acumulación de materia orgánica sobre el fondo, producto de fecas y alimento no consumido, y de los desechos metabólicos de los peces en cultivo (Tapia & Giglio, 2010; IFOP, 2015).



Fig. 7. Concesiones de salmones presentes entre la región de Los Lagos y Magallanes. Se presentan en color naranja y se observa una mayor concentración de estas en la Región de Los Lagos, según información de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura para el año 2015.

2.1. Oceanografía y corrientes

Para todo el país se describen 8 corrientes principales (Fig 7), entre las que destaca la de Humbolt y sus diferentes ramas. Para la zona de estudio, podemos observar la fuerte presencia de la corriente oceánica de Cabo de Hornos, la cual se origina como la división sur de la Corriente Superficial de Deriva de los Vientos del Oeste, producida en Convergencia de Deriva del Oeste, la cual ocurre a los 45°S aproximadamente (Fig. 8). Además existe la presencia más débil de la rama costera de la corriente de Humboldt la cual se va al norte de manera subsuperficial desde el sur de Chiloé (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2008). Esta zona se caracteriza por un predominio de aguas subantárticas durante todo el año con una importante influencia de las aguas continentales en la zona costera caracterizada por el aporte de agua dulce y por el flujo permanente hacia el sur (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2008).

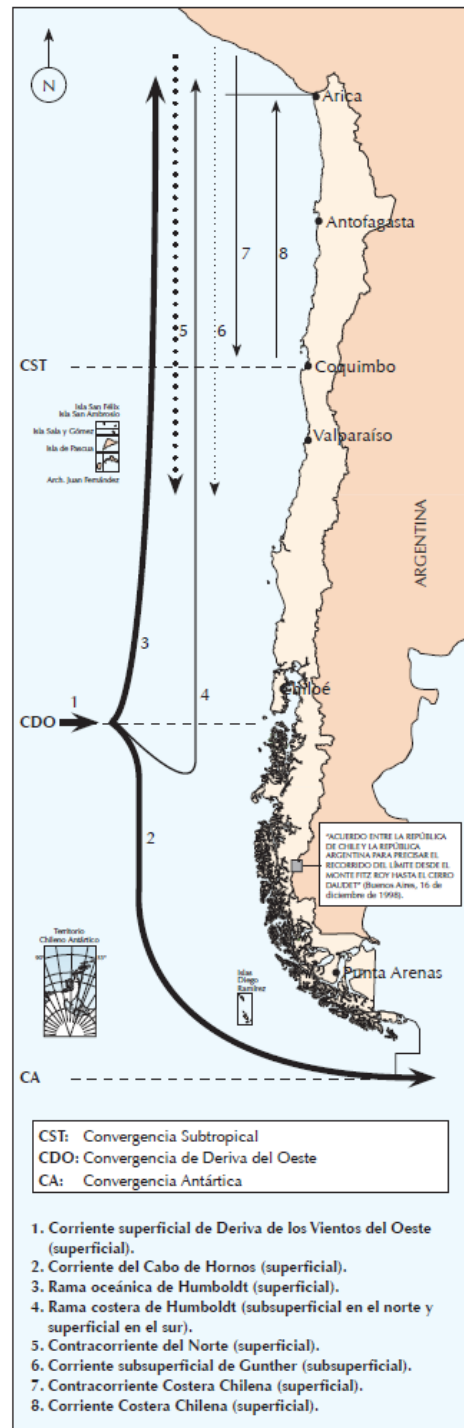


Fig. 8. Esquema de corrientes presentes en la costa chilena, tomado de CONAMA 2008. Se observa la distribución de este a oeste de las distintas corrientes costeras.

2.2. Geografía y clima

Nuestro país puede caracterizarse por tener una gran variedad de geografía y de climas a lo largo de todo su territorio. En este sentido, y considerando las características climáticas, la (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2008), divide la zona costera en 3 sectores:

- Desde Arica a Coquimbo (18°S a 30°S), llamada zona seca y corresponde a un sector de desierto costero con temperaturas estables, que varían entre los 22°C y 12°C, en verano e invierno, respectivamente. Todos los meses son secos, pero tienen una alta incidencia de neblina, especialmente en los meses invernales.
- Coquimbo a Isla Mocha (30°S a 38°S): corresponde a la zona templada, y tiene temperaturas que fluctúan entre los 20°C y 10°C en verano e invierno respectivamente. En esta zona se describe precipitaciones, que van desde los 110 mm anuales en la zona de Coquimbo a los 760 mm en Talcahuano.
- Isla Mocha a Cabo de Hornos (38°S a 56°S): corresponde a la denominada zona lluviosa y patagónica. La temperatura disminuye drásticamente respecto a las zonas más al norte, desde 12°C hasta los 5,4°C en la zona de Cabo de Hornos. Es una zona caracterizada por abundancia de precipitaciones, donde en promedio varían entre los 1.871 mm en la zona cercana a Valdivia, hasta los 5.090 mm en la entrada oeste del Estrecho de Magallanes.

En términos geográficos, el área de estudio se caracteriza por una morfología intrincada con centenares de islas y fiordos que protegen del oleaje oceánico la navegación y forman canales protegidos extendiendo la línea de costa a unos aproximadamente 90.000 km., con una plataforma continental más somera y amplia que en la zona norte del país (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2008; IFOP, 2015). Esta zona se caracteriza también porque existe un gran aporte de agua dulce proveniente de ríos, lagos y lluvia, los que en su movimiento arrastran una importante cantidad de sedimento y material de origen terrestre sobre el mar (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2008). En esta zona además, existe un mayor número de playas de arena, estuarios y humedales, y más al sur (48°S), algunos glaciares provenientes de hielos patagónicos llegan al mar aportando grandes volúmenes de

agua modificando sustancialmente los regímenes de salinidad (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2008).

2.3. *Ecosistemas característicos*

Existe cierto consenso entre los investigadores chilenos en definir que existen entre 4 y 5 ecosistemas a lo largo de la costa (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2008). En este sentido, los patrones de distribución se corresponden con las descripciones patrones de circulación oceanográficos, climáticos y geográficos del sector sur patagónico. Como una descripción general para la flora y fauna marina chilena, existe un alto grado de aislamiento geográfico, favoreciendo el endemismo y un baja riqueza a nivel de especies, esto debido principalmente a las corrientes que corren de sur a norte y las baja concentración de oxígeno de las aguas subsuperficiales, lo que permitió bajo intercambio con la zona del pacifico tropical y bajo flujo e intercambio larval (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2008).

El área de estudio, se caracteriza por abundantes lluvias durante todo el año la cual también puede actuar como una barrera de entrada para especies a esa área (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2008). Según (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2008), los ecosistemas, contenidos en el área de estudio corresponden: a) ecosistema oceánico, b) ecosistema de mares interiores, y c) ecosistemas estuarinos. El primero se caracteriza por aguas frías (8°C a 12°C), donde destacan especies grandes como mamíferos marinos (cachalotes y orcas), y pesquerías industriales demersales (merluza de cola, merluza común). El segundo y donde se emplazan la mayoría de los centros de cultivo, caracterizado por ser sistemas protegidos del oleaje, someros y con gran aporte de agua dulce, los que dan cuenta de un sistema de alta diversidad y productividad planctónica, la que sustenta una fauna característica de poliquetos, moluscos, crustáceos y peces, y como zona de resguardo para reproducción y descanso de animales de mayor tamaño (aves oceánicas, mamíferos marinos).

3. Planteamiento del problema

La salmonicultura en Chile corresponde a una actividad altamente invasiva tanto desde el punto de vista de la biodiversidad como de la intervención antrópica en los medios ambientes naturales marinos, lo que genera un impacto negativo en el medio ambiente donde se desarrolla, desde variadas perspectivas: a) introducción de especies aloctonas, los salmónidos al no tener depredadores naturales, en sus escapes depredan sobre peces autóctonos, sumado a que pueden transmitir enfermedades u otros patógenos sobre otras poblaciones naturales; b) presión sobre recursos pesqueros para generación de alimento para especies de cultivo; c) incremento del aporte de materia orgánica al medio a través de alimento no consumido y fecas de individuos en cultivo; d) aporte de fármacos (antibióticos, anti fúngicos y antiparasitarios) a sedimentos y columna de agua; y e) generación de desechos y residuos desde centros de cultivo y prestadores de servicios a la industria (talleres de redes) y con la consecuente alteración de los espacios naturales (Muñoz, 2009).

Lo señalado anteriormente repercute de manera negativa sobre los sistemas naturales donde estos cultivos están insertos, disminuyendo la calidad ambiental de la zona intervenida. Desde el punto de vista de la legislación aplicada sobre esta industria y del resguardo medio ambiental, no se plasmó la preocupación del ente regulador y legislador en una oportuna acción de fiscalización de la entidad administradora, lo que se tradujo en un sostenido crecimiento de la actividad, inorgánico y con normas mínimas poco adecuadas para resguardar la sustentabilidad de ésta (Fuentes, 2014).

Cabe mencionar también que esta actividad requiere principalmente de espacios de borde costero en los que compite con otros actores (Fuentes, 2014). Y ya en el año 1991, se preveía que la promoción de esta actividad ejercería presión sobre el borde costero pudiendo generar conflictos con otros usos del mismo (Fuentes, 2014). En esta fecha, la ocupación de la acuicultura era bastante menor a la actual, y en ese entonces la legislación pretendió establecer un instrumento que indicara los sectores donde se podría desarrollar la actividad sin entrar en conflicto con otros usos, sin prever mediante la solicitud de estudios básicos, las

consecuencias de centrar el 80% de la producción en el mar interior de la región de Los Lagos (Bravo, 2012). Sin embargo, en la práctica estos estudios técnicos exigidos por la legislación ad-hoc (LGPA), se limitaron a delimitar cartográficamente, los espacios que por defecto no eran reclamados por otros usuarios del borde costero, quedando asignadas a la acuicultura las áreas que no recibieron oposición, sin que se consideraran las condiciones que son esenciales para obtener un buen desempeño ambiental de la actividad, tales como a profundidad del sector, la velocidad de corrientes, entre otras, lo que en gran parte explica los problemas posteriores (Fuentes, 2014).

En consideración a lo anterior, se desprende que ha existido y se mantiene una inadecuada gestión de la regulación que se aplica sobre los sistemas productivos de cultivo de salmones en el mar, lo que ha llevado a tener negativas consecuencias medioambientales, tales como contaminación en la zona costera, fondos marinos y columna de agua por desechos de la industria, y sustancias orgánicas e inorgánicas, y un impacto negativo sobre el medio ambiente marino y las poblaciones de especies nativas del sur de Chile.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Proponer un índice de calidad ambiental para ser aplicado a los centros de cultivo de salmones ubicados en la zona austral de Chile.

4.2. Objetivos específicos

1. Seleccionar los indicadores ambientales simples utilizados para evaluar el impacto ambiental de las salmoneras sobre el medio marino en Chile
2. Analizar índices de calidad ambiental aplicados a la salmonicultura u otras actividades de acuicultura
3. Comparar la normativa internacional con la nacional en relación a los indicadores ambientales aplicados para la evaluación del impacto ambiental de la salmonicultura
4. Elaborar un índice de calidad ambientales para ser aplicado en los centros de cultivo de salmones y en el área de influencia donde estos están emplazados

5. Metodología

5.1. Levantamiento de información nacional para la identificación y selección de indicadores ambientales aplicados a la salmonicultura

Para el desarrollo del objetivo específico 1, se realizó una revisión de la normativa nacional a fin de identificar los parámetros utilizados para evaluar el desempeño ambiental de las actividades de acuicultura, en específico de salmonicultura en Chile. Se generó una lista de la totalidad de los parámetros y/o indicadores ambientales utilizados y solicitados por la autoridad acuícola pesquera, los cuales son descritos y tabulados con objeto de presentar sus características de rangos de normalidad, límites de aceptabilidad, valores y rangos encontrados en el ambiente sin intervenciones antrópicas, valores críticos que indiquen el estado de los sistemas, considerando ambientes altamente intervenidos y/o contaminados, entre otros. También, se presentan observaciones sobre la utilidad de estos desde el punto de vista de la información que proporcionan del estado ambiental del medio marino y el grado impacto que estas actividades proporcionan.

5.2. Índices de calidad ambiental aplicados a la acuicultura

Para el objetivo 2, a través de una revisión bibliográfica se indagó sobre los índices de calidad ambiental utilizados para evaluar el impacto de las actividades de cultivos marinos en con especial atención sobre los cultivos de salmónes en el medio ambiente marino, tanto en Chile como en otros países. Aquí se incluyeron el todos los índices utilizados y otros que puedan ser de utilidad para esta evaluación del estado ambiental del medio marino. Los índices identificados se analizaron considerando su aplicabilidad en el monitoreo y evaluación desde el punto de vista ambiental. Además, se incluyen otros índices de calidad ambiental que puedan ser aplicados o adecuados a la acuicultura o para la evaluación del estado ambiental del medio marino.

5.3. Análisis comparativo de la normativa nacional con la internacional respecto a indicadores ambientales aplicados a la actividad salmonicultora

A través de una revisión bibliográfica, se analizó comparativamente la normativa ambiental nacional con la internacional. En relación a la normativa nacional, se analizó específicamente la que rige a las actividades de cultivo, el Reglamento Ambiental para la Acuicultura D. S. Minecon N°320/2001 (RAMA), la cual es también abordada en extenso en el objetivo específico número 1. Posteriormente se detalló y analizó la normativa internacional que rige para actividades acuícolas y en específico para la salmoniculturas en el ámbito ambiental, en países con mayor desarrollo de esta actividad. Se consideró para este análisis las normas de Noruega y de Canadá, debido a la semejanza en términos productivos (volumen de producción y especies cultivadas), que tienen con nuestro país.

Para el análisis comparativo se consideraron: los parámetros monitoreados de control, índices de calidad ambiental solicitados por la autoridad competente, exigencias y evaluaciones ambientales requeridas por la norma, frecuencia o periodicidad de los monitoreos, entre otros. Esto se presenta en una tabla comparativa, desagregada por los distintos aspectos a abordar.

5.4. Elaboración de un índice de calidad ambiental aplicado a los centros de cultivo de salmones

Según lo señalado para el desarrollo del objetivo 4, utilizando toda la información obtenida, se desarrolló y propuso un índice de calidad ambiental para ser aplicado a la actividad de salmonicultura, acorde a la realidad nacional, y el cual considera incluir las condiciones geográficas, oceanográficas de cada sector donde se desarrollen cultivos de salmones en mar, los niveles de producción de un área determinada, y otros puntos que sean identificados en los objetivos anteriores, tales como cercanías a centros poblados, indicadores de empleabilidad o cumplimiento de las leyes laborales de las salmoneras, biodiversidad del sector, etc. Bajo estas consideraciones se observó que la metodología adecuada para la elaboración de un índice, en el cual participan variados parámetros u

indicadores y los cuales no tienen una relación de causalidad entre ellos, es a través de la metodología propuesta por Escobar (2006), quien señala que cuando existen estas relaciones sin un efecto directo de causalidad, es más operativo desarrollar ese índice a través de temas y subtemas. El autor plantea un modelo de construcción de índice de calidad ambiental para centros urbanos grandes, en el cual considera las diferentes localidades de estos centros urbanos para considerar sus particularidades dentro del índice. Esta propuesta metodológica se adapta a la propuesta de índice de calidad ambiental que se presentará, ya que recoge las variaciones entre sectores las cuales se deben principalmente a las particularidades geográficas presentes en la extensa zona austral considerada y donde se desarrolla la actividad de cultivo.

6. Resultados

6.1. *Selección de indicadores ambientales utilizados para evaluar el impacto ambiental de las salmoneras*

La normativa nacional respecto a la reglamentación en temas de acuicultura es relativamente reciente. El cuerpo normativo que regula estas temáticas, la Ley N° 18.892 de 1989 y sus modificaciones, Ley General de Pesca y Acuicultura, como se indica se inicia en la década de 1990, aun cuando ya se había avanzado en el desarrollo de la actividad, este no estaba plasmado en una normativa específica. En él se incorpora la regulación sobre actividades de cultivo y nace la figura de las concesiones de acuicultura en distintos terrenos, considerando terrenos en playas, bahías, porciones de agua y fondo en mar, ríos y lagos navegables por buques de más de 100 toneladas como cualquier otro bien nacional (Biblioteca del Congreso Nacional, 1989). Se señala además que estas tienen por objeto el uso particular de actividades de acuicultura de peces, algas, moluscos, crustáceos y en general toda clase de recursos hidrobiológicos (Biblioteca del Congreso Nacional, 1989). Esta ley es el cuerpo normativo donde se ampara toda la regulación relacionada tanto con pesca y como con acuicultura, desprendiéndose de esta, en el caso de la acuicultura, las instrucciones para el desarrollo de reglamentos particulares que detallan procedimientos específicos para aspectos relacionados directamente con ámbitos tales como el cumplimiento en materia ambiental, requerimientos de cumplimiento sanitario, procedimientos para la obtención de una concesión de acuicultura, tanto en salmones como para otras especies sujetas a cultivo, importación de especies para cultivo y/o experimentación, entre otras.

En específico se analizaron los diferentes cuerpos normativos asociados o amparados bajo la Ley General de Pesca y Acuicultura y en los cuales presentan en sus lineamientos principales requerimientos de carácter ambientales (Tabla 2). A continuación se detallaran todas las normativas analizadas.

Tabla 2. Normativa nacional analizada en el ámbito de la acuicultura con lineamientos ambientales. Se presenta nombre de cada una y breve descripción de la misma, destacando lo relacionado con las exigencias de carácter ambiental.

Nombre Normativa	Descripción
Reglamento Ambiental para la Acuicultura D.S. Minecon N°320/2001	<ul style="list-style-type: none"> ○ Establece las directrices ambientales para todas las actividades de cultivo desarrolladas en el país. ○ Establece los instrumentos para evaluación del estado ambiental de los cuerpos de agua intervenidos con centros de cultivo.
Resolución Que fija las metodologías para elaborar la caracterización preliminar de sitio (CPS) y la Información ambiental (INFA), R. Ex. Subpesca N° 3612/2009	<ul style="list-style-type: none"> ○ Establece tipos de categoría de centros y los parámetros a solicitar por cada una. ○ Establece el detalle de la metodología de muestreo y análisis de datos por parámetro solicitado. ○ Establece límites de aceptabilidad para determinación de la condición aeróbica de cada centro de cultivo
Reglamento de medidas de protección, control y erradicación de enfermedades de alto riesgo para las especies hidrobiológicas D.S. Minecon N°319 de 2001	<ul style="list-style-type: none"> ○ Establece medidas de carácter sanitario a fin de resguardar la propagación de enfermedades ○ Se incluye la creación de una zonificación geográfica con la figura de las Agrupaciones de Concesiones, para establecer manejo sanitario ○ Se establece restricciones de densidades de cultivo de peces, como sanción ante incumplimientos en materia de orden ambiental, sanitario y productivo.

6.1.1. Reglamento Ambiental para la Acuicultura, D.S. MINECON N°320/2001 (RAMA)

En este cuerpo normativo se instruyen una serie de directrices que se constituyen como instrumentos para la conservación y evaluación de las capacidades de los cuerpos de agua, los que se establecen como requisitos de operación de los centros de cultivo. Estos

corresponden a la Caracterización Preliminar de Sitio (CPS) y la Información Ambiental (INFA). Estos instrumentos son requeridos solo para los centros de cultivo que se deben someter al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, categoría en la cual los centros de cultivo de salmones califican². En este sentido, los proyectos donde se realice cultivos en sectores de agua y fondo, estos sólo obtendrán el Permiso Ambiental sectorial (PAS), cuando se determine que las condiciones de los sustratos de fondo son aeróbicas. La CPS debe contener todos los elementos que la autoridad pesquera debe considerar para realizar esta evaluación y corresponde al primer paso, previo a la otorgación de la concesión de acuicultura. El titular o el futuro titular de esta concesión, tienen la responsabilidad de que el centro que le es otorgado se desempeñe en niveles de producción compatibles con las capacidades del cuerpo de agua donde se encuentra, manteniendo en todo momento condiciones aeróbicas en el sustrato de fondo. Respecto a las INFAs, estas corresponden a una obligación regular de entrega de información y parámetros ambientales por parte de las concesiones de cultivo que ya han sido otorgadas. En el caso de los centros de cultivo de engorda de peces, los muestreos para INFA se realizan 2 meses previo a la última cosecha que se realice durante el año. Cabe señalar que los requerimientos de las INFAs y la CPS, están dado de acuerdo al tipo de cultivo que se realiza o se realizará, el nivel de producción, el tipo de alimentación del mismo (si es entregada, intensiva, o la realiza directamente del medio sin intervención humana, extensiva). Este cuerpo normativo fija además, la dictación de una resolución acompañante en donde se entregan de manera detallada las metodologías que deberán ser utilizadas para la determinación de cada uno de los parámetros solicitados y de acuerdo a los requerimientos de cada tipo de cultivo y donde éste se desarrolle. En esta resolución también están detallados los rangos de aceptabilidad y la periodicidad en la entrega de la información ambiental. A continuación se entrega el detalle de sus requerimientos.

² Art. N°10, letra n), Ley N° 19.300 Sobre Bases Generales del Medio Ambiente , Ministerio del Medio Ambiente

6.1.2. Resolución que fija las metodologías para elaborar la caracterización preliminar de sitio (CPS) y la Información ambiental (INFA), R. Ex. Subpesca N° 3612/2009

Según lo señalado el párrafo precedente, en este texto se fijan las metodologías y contenidos mínimos que deben incluir la Caracterización preliminar de sitio (CPS) y la Información Ambiental (INFA), que deben entregar los centros de cultivos. Esta información, la periodicidad y la forma de realizar el muestreo, tanto como para las CPS como para las INFA, dependen del tipo cultivo que se realice en cada centro y de las características del sustrato donde se emplaza. Para establecer claramente que requerimientos corresponden a cada tipo de centro, esta resolución establece una clasificación que ordena los centros de cultivo en diferentes categorías. Para esta clasificación se consideran los siguientes puntos:

- Tipo de alimentación para producción: sistema intensivo, donde el alimento es proporcionado artificialmente a los organismos de cultivo; y extensivo, donde los organismos captan su alimento desde el medio natural
- Volumen o nivel de producción: en caso de producción intensivo, mayor o menor a las 50 toneladas, en caso de cultivos extensivo, mayor o menor a 1000 toneladas
- Sistema de producción: para el caso de cultivo de sistemas extensivos de fondo o suspendido
- Profundidad: mayor o menor a 60 metros
- Tipo de Sustrato de fondo: duro, semiduro o blando
- Ubicación en lagos, lagunas o ríos, solo para las categorías 6 y 7.

Las categorías van numeradas desde la 0 a la 7, y se establecen de acuerdo a las diferentes combinaciones de las características antes señaladas (Tabla 3). Como ya se mencionó, de acuerdo a cada una de estas categorías son los requerimientos de muestreo, tipo de parámetros a registrar, la información a entregar y la periodicidad de los muestreos (Tabla 3). En cada una de las estaciones de muestreo deberá realizarse el muestreo tanto de parámetros en columna de agua, sedimentos y de corrientes. El detalle de toda la metodología de muestreo desde la toma de muestras, análisis de los datos y los equipos de

medición, por cada uno de los parámetros a medir según categoría que corresponda, está también establecidos en este cuerpo normativo.

Este cuerpo normativo también fija el procedimiento para establecer los puntos o estaciones de muestreo en cada una de las concesiones que deba entregar información. En el caso de las CPS el número de estaciones dependerá de la extensión de la concesión, considerando que deben incluir una por cada hectárea hasta las 150 hectáreas, mayor a esta extensión, se deben ubicar 150 estaciones. En el caso de las INFA, su número dependerá del número de módulos que se encuentren con máxima biomasa para el ciclo productivo o año calendario según corresponda, y en cada uno de estos módulos seleccionados deberán establecerse 4 estaciones, más 2 estaciones de referencia para muestreo bentónico, las cuales deben ubicarse de manera uniforme para por el perímetro de los módulos seleccionados. En el caso de que la concesión cuente con solo un módulo, se deberán incluir 8 estaciones de muestreo, y para el caso de centros con alimentación extensiva los centros con una extensión de 6 o menos hectáreas, deben establecer 6 estaciones.

Respecto a la periodicidad en la entrega de la INFA, esta también va a depender del tipo de alimentación del cultivo, si esta es intensiva o extensiva. Para los cultivos extensivos, esta se deberá entregar cada 2 años, y para los intensivos, en el cual se encuentran clasificados todos los centros de cultivo de peces, debe entregarse por cada ciclo productivo para los centros de engorda, cada año para los centros de esmoltificación y de reproductores.

6.1.3. Reglamento de medidas de protección, control y erradicación de enfermedades de alto riesgo para las especies hidrobiológicas D.S. Minecon N°319 de 2001

Aun cuando esta normativa no se vincula directamente con la temática medio ambiental, existe dentro de ésta, en el Título V y Titulo XIV, la obligatoriedad de zonificación en base al manejo sanitario para el control de enfermedades y las densidades máximas por agrupación de concesiones. Cabe señalar que estas medidas se instauran posteriormente al brote de ISA y como una medida tendiente a aislar los brotes, protegiendo así los sectores no infectados. Se establece la figura de las Agrupaciones de Concesiones, la cual se define en su Art N° 2,

numeral 39) como *“el conjunto de concesiones de cultivo que se encuentra en un área apta para el ejercicio de la acuicultura en un sector que presenta características de inocuidad, epidemiológicas, oceanográficas, operativas o geográficas que justifican su manejo sanitario coordinado por un grupo de especies hidrobiológicas así declarado por la Subsecretaría”*. Esta zonificación a través de las concesiones de acuicultura, establece límites geográficos donde se sitúan un número conocido de concesiones o centros de cultivo de peces, formando las agrupaciones de concesiones, las cuales están monitoreadas regularmente a fin de establecer su estatus sanitario, y clasificadas según éste. En el caso de las densidades, están se fijan también para las agrupaciones de concesiones y están en relación a su comportamiento en materias sanitaria, ambiental y productiva. Consideran el cumplimiento en estos 3 ámbitos, se fija un puntaje con el cual se establece una clasificación, llamada clasificación de bioseguridad, y con esto la biomasa máxima de producción para que este conjunto de concesiones puedan operar. Los centros de cultivo con clasificaciones de bioseguridad media a baja serán sancionados y deberán reducir el número de ejemplares a ingresar al medio acuático para su siguiente ciclo productivo, lo se expresará en un porcentaje del total ejemplares ingresados en el ciclo productivo que dio origen a esa clasificación. Aun cuando estas medidas se establecen con fines de protección sanitaria y productiva, indirectamente resguarda la capacidad de carga de los sectores donde se ubican estas concesiones, limitando el aporte de materia orgánica a través de la restricción de la biomasa en el agua cuando estos centros han concurrido en incumplimientos en materia ambiental, productiva o sanitaria.

Tabla 3. Tipos de Categorías establecidas para cada uno de los centros de cultivo, de acuerdo al tipo de cultivo, profundidad y tipo de sustrato de fondo. Se presentan los indicadores ambientales (parámetros) solicitados por cada tipo de categoría, según lo establecido en D.S. N° Minecon N°320/2001 y sus modificaciones.

Parámetros	Categorías								
	0	1 (menos de 60mts.)	1 (más de 60mts.)	2	3	4	5	6	7
Plano Batimétrico		X	X	X	X	X	X	X	X
Plano de sustrato		X	X	X	X	X	X	X	X
Plano de estaciones y módulos de cultivo		X	X	X	X	X	X	X	X
Oxígeno ⁽¹⁾			X		X	X	X	X	X
Temperatura del agua ⁽¹⁾			X		X	X	X	X	X
Salinidad ⁽¹⁾			X		X	X	X	X	X
Granulometría				X	X			X	X
Materia Orgánica Total		Sustratos blandos		X				X	X
Macroinfauna bentónica				X	X			X	X
pH ⁽²⁾					X			X	X
Redox ⁽²⁾					X			X	X
Temperatura ⁽²⁾					X			X	X
Sulfuro ⁽²⁾					X				
Inspección visual						X			

⁽¹⁾en la columna de agua; ⁽²⁾en sedimento

Los resultados de los muestreos y mediciones de parámetros solicitados por la INFA, evalúan sólo la condición de anaerobiosis del sector sometido a muestreo. Aun cuando se presenta información relevante sobre el estado de estos parámetros en el área de ubicación de los centros de cultivo, esta información no es específica sobre las causas o como la sumatoria de estas pueda estar influyendo de manera positiva o negativa en el ambiente. En este sentido, la normativa establece límites de aceptabilidad para algunas variables (Tabla 4), a fin de establecer su condición aeróbica o anaeróbica, según corresponda. El no cumplimiento de estos límites en 3 de las 8 estaciones para intensivos o para extensivos en 2 de 6, implica un estado de anoxia del medio y repercute en sanciones tales como la suspensión de actividades productivas y operativas, las cuales solo son levantadas una vez demostrado a través de una nueva INFA, que se han restablecido las condiciones aeróbicas de los sectores muestreados previamente según los límites de aceptabilidad fijados por esta norma.

Tabla 4. Rangos de aceptabilidad estipulados para cada uno de los parámetros solicitados por las INFA, según lo establecido por la R. Ex. Subpesca N°3612/2009.

Parámetros	Rangos aceptabilidad	Objetivo de su medición
Oxígeno en columna de agua (a 1 metro de fondo)	≥2.5 mg/L	Evaluar condición aeróbica del sector
Temperatura en columna de agua	N/A	Evaluar y caracterizar condiciones de la columna de agua
Salinidad en columna de agua	N/A	Evaluar y caracterizar condiciones de la columna de agua
Granulometría	N/A	Evaluar las condiciones de sustrato de fondo
Materia Orgánica Total (MOT)	≤ 9%	Evaluar condición aeróbica del sector
Macroinfauna Bentónica	N/A	Evaluación y análisis de la estructura de la comunidad bentónica a través del cálculo de parámetros ecológicos como diversidad (Shannon-Wiener, H'), dominancia (Simpson, D) y

		uniformidad (Pielou, J')
pH en sedimentos	≥ 7.1	Evaluar condición aeróbica del sector
Redox en sedimentos	≥ 50 mV	Evaluar condición aeróbica del sector
Temperatura en sedimentos	N/A	Evaluar las condiciones de sustrato de fondo
Sulfuro	*	*
Inspección Visual	Ausencia de batería <i>Beggiatoa</i> spp en el sustrato o de burbujas de gas	Identificar condiciones anaeróbicas en el centro, la cual es ideal para el desarrollo de esta bacteria y de generación de gases

*el artículo transitorio 2, establece que este parámetro no será solicitado hasta que la Subsecretaría de Pesca establezca la metodología de análisis y sus límites de aceptabilidad.

Considerando y según lo descrito previamente, dentro de los cuerpos normativos nacionales analizados que rigen las actividades de cultivo, no se encuentran índices o parámetros utilizados directamente como indicadores de calidad ambiental. De esta revisión, se desprende además, que se establecen una serie de indicadores simples que dan cuenta del estado de condición de los sistemas acuáticos. Estos indicadores corresponden a diversos parámetros referidos principalmente a las condiciones fisicoquímicas del agua de mar y del sustrato bentónico aledaño al área de cultivo. Estos al verse alterados, adquieren características propias de un ambiente intervenido por la actividad de cultivo, observándose y registrándose, por ejemplo, los cambios que ocurren en el fondo marino relacionado con el aumento de materia orgánica en los sedimentos, *i. e.* concentración de pellet, acumulación de fecas, cambios en el color y olor de los sedimentos, etc. (IFOP, 2015). Tal como se señala anteriormente, estos parámetros se solicitan de acuerdo a la categoría de cultivo que se está realizando. Sin embargo, las exigencias en relación a la medición y resultados de los parámetros de anaerobia, son las mismas para todas las categorías de cultivo, sin considerar otro tipo características del medio como son la velocidad de las corrientes en el sector, características geomorfológicas del sector, o el aporte de materia orgánica proveniente de ríos u otros afluentes, los que actúan de manera sinérgica en el deterioro de la calidad ambiental del ecosistema de fondo.

Dada la revisión antes presentada, y considerando la utilidad desde el punto de vista informativo del estado medio ambiental, se realizó una selección de parámetros que serán utilizados para el desarrollo del índice medio ambiental (Tabla 5). La selección de estos parámetros es de gran relevancia, debido a que si no se eligen los correctos, no es posible cuantificar el posible impacto que tiene actividad en el medio. En este sentido, es necesario poner atención en los parámetros que aparecen o se ven mayormente afectados cuando se desarrolla la actividad de cultivo, si no, no es posible visualizar ni cuantificar el impacto de la actividad en el medio.

Tabla 5. Listado de los parámetros seleccionados desde la revisión de la normativa nacional, y descripción de su utilidad desde el punto de la información proporcionada.

Parámetros	Información proporcionada
Oxígeno disuelto	Este al medirse a 1 metro del sedimento, entrega información sobre la condición aeróbica del sector donde se emplaza el centro de cultivo
Granulometría	Da cuenta de las características del sustrato donde se ubica el centro de cultivo. Entre más fino este sustrato, más posibilidades de acumular materia orgánica.
Materia Orgánica Total	Entrega información sobre la materia orgánica existente en el sector, y puede compararse en el tiempo si existe acumulación o nuevos aportes.
Macroinfauna Bentónica	Al aplicar índices de riqueza, diversidad y dominancia, se entrega información sobre si existen modificaciones en la comunidad bentónica adyacente. Esto actúa como indicador de ambientes intervenidos.
pH en sedimento	Una modificación en los rangos normales de pH, indica intervención y estado alterado de los sedimentos, el cual puede estar dado por procesos de descomposición o acción microbiana
Redox	Sus valores negativos o menores a 50mV, entregan información sobre la actividad de degradación de materia orgánica. Este parámetro se asocia a la cantidad de materia orgánica depositada en el sedimento superficial.
Clasificación de bioseguridad	Indicará el estado de cumplimiento que el centro tenga en términos de su comportamiento ambiental, sanitario y productivo.

Densidad Máxima permitida	Entrega información de la biomasa máxima que tiene permitido el centro de cultivo de peces. Lo que entrega un indicador indirecto del aporte de materia orgánica al medio.
Agrupación de concesiones	Entrega la información su ubicación geográfica, junto con entregar información del conjunto de centros operativos que están en esa zonificación.

6.2. Índices de calidad ambiental aplicados al cultivo de salmones

De la revisión bibliográfica realizada, se desprende que no existen índices de calidad ambiental aplicados directamente sobre la actividad de cultivo de salmones, esto siendo tanto para el caso nacional como el cultivo de este grupo en otros países. De los antecedentes estudiados, se observa que la forma de evaluar el impacto de la actividad sobre el medio ambiente donde se emplaza, se realiza a través de metodologías principalmente enfocadas a la modelación. En este sentido, uno de los modelos más utilizados en Chile a fin de establecer las zonas impactadas o bajo el área de influencia de donde se emplaza el centro de cultivo, son DEPOMOD y la Ecuación de Gowen. Ambos modelan la dispersión de sólidos, permite identificar las zonas de influencia donde se dispersan en mayor concentración las partículas sólidas sobre el fondo marino, como los restos de alimento (alimento no consumido, ANC) y las fecas. Utilizan principalmente información sobre las corrientes del sector a modelar, profundidad del sector y la velocidad de sedimentación de las partículas ingresadas al sistema, junto con la información productiva del centro, en el caso de DEPOMOD, lo que lo hace un modelo más preciso (IFOP, 2015). Sin embargo, estos modelos son utilizados mayormente por investigadores, y no por la autoridad competente, en el sentido de considerar sus resultados en la toma de decisiones o en el levantamiento de información para establecer los sitios aptos para cultivo, ni tampoco se les es exigido a los titulares de estas concesiones.

Adicionalmente, e incluido como parte de las modificaciones a la Ley de Pesca y Acuicultura (Ley 20.434 de abril de 2010, Ministerio de Economía, Fomento y Turismo), producto de la crisis sanitaria provocada por el brote de virus ISA, se incluye el establecer densidades máximas de cultivo para cada una de las Agrupaciones de Concesiones de Salmónidos, esto dentro de las modificaciones incluidas en el Reglamento de Medidas de Protección, Control y Erradicación de enfermedades de Alto Riesgo para las Especies Hidrobiológicas D.S. N°319 de 24 de agosto de 2001 (RESA), Ministerio de Economía, Fomento y Turismo tal como se señala en el punto anterior. Este reglamento que establece las medidas de orden sanitario para los cultivos, con especial atención en el cultivo de salmones. En uno de sus títulos se establece el

procedimiento para el cálculo de las densidades máximas de cultivo con objeto de resguardar la biomasa por balsa jaula y así evitar que los individuos, en este caso distintas especies de salmones se estresen y bajen sus defensas. Con esta medida también se evita favorecer las condiciones que propician se genere una concentración de carga parasitaria (*e.g.* piojo de mar, *Caligus rogercresseyi*), y también una concentración de carga de enfermedades infecciosas como el virus ISA. Aun cuando esta exigencia normativa no aparece como índice propiamente tal, se puede utilizar como un indicador de buenas prácticas de cultivo en salmonicultura. En el Título XIV de este citado cuerpo normativo, se desarrolla la metodología de cómo calcular estas densidades máximas, definiendo esta como “*la biomasa de peces existente por área utilizada con estructuras de cultivo, al término de la etapa de engorda del ciclo productivo*” (Art. 58M, RESA). Para realizar esta determinación de densidad, inicialmente se deben clasificar las agrupaciones de acuerdo así inician un ciclo productivo por primera vez, en caso de ser nuevas, o según la clasificación de bioseguridad que se le otorgo de acuerdo a los 2 últimos ciclos productivos realizados, para lo cual se considera un componente ambiental: resultado de los informes ambientales (INFAs) con resultados aeróbicos; componente sanitario: pérdidas por mortalidad, exceptuándose las mortalidades dadas por emergencias (*i.e.* floraciones algales, emergencias sanitarias, catástrofes naturales, choques de embarcaciones con las estructuras de cultivo, etc.); y componente productivo: que compara la proyección de siembra con la siembra efectiva. La ponderación de estos 3 componentes dan un resultado de clasificación de bioseguridad ya sea alta, media o baja, lo cual tiene incidencia directa en el número máximo de ejemplares autorizados para siembra. Posteriormente se fija un número máximo de ejemplares a ser ingresado en las estructuras de cultivo de cada centro (Fig. 9), la cual depende de la clasificación antes señalada. En este sentido, centros que presenten clasificaciones de bioseguridad baja o media, o que presente resultados negativos en sus INFAs, verán reducidos los porcentajes de siembra permitidos en sus estructuras.

En (Tapia & Giglio, 2010), se describen también, una serie de modelos de aplicación a los cultivos de salmones, bacalao y halibut, que son utilizados en países como Reino Unido,

Escocia, Canadá, Suecia y Noruega. Estos modelos en su mayoría apuntan a tener una representación espacial de la dispersión de partículas sólidas, como restos de alimento no consumido y fecas, sobre el fondo marino. Otros modelos de los por los autores descritos, analizan el aporte de nutrientes (amonio, nitratos, sulfatos, sulfitos, etc.) y materia orgánica total, en el bentos, y relacionan esto con la calidad del agua. Y otros de estos modelos, pero minoritarios, relacionan condiciones de consumo oxígenos, flujo de carbono, abundancias y



Fig. 9. Balsas jaulas de cultivo de salmones. Se observan las diferentes estructuras de cultivo donde se realiza la siembra de salmones. Es en base a estas estructuras, que se desarrolla el cálculo densidades máximas permitidas para siembra, según lo estipulado por el D.S. Minecon N°319/2001.

flujos de diferentes grupos de organismos bentónicos y o planctónicos (tanto en zooplancton como en fitoplancton), con la calidad ambiental del bentos. Estos modelos, necesitan una gran cantidad de información relacionada con la producción (número de balsas jaulas, tipo y cantidad de alimento, alimento no consumido, especies de cultivo, biomasa de cultivo, etc.), tasas de excreción, batimetría detallada y de alta resolución, corrientes (velocidad y

dirección, residuales y mareas), velocidad de sedimentación de partículas, demanda de oxígeno del sedimento, tiempos de residencia de aguas en fiordos, clorofila fraccionada por tamaños, radiación, variables hidrográficas (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto en columna de agua), entre otros. Muchos de estos modelos pueden acoplarse a otros, aumentando la complejidad de la modelación y con esto una mayor cantidad de parámetros de salida, que dan cuenta de los estados ambientales del sector donde se desarrollan los cultivos. La mayoría de estos modelos se desempeña a escala local, y solo unos pocos se desempeñan a nivel de cuencas oceanográficas. En este sentido, los autores señalan la importancia en la selección de un modelo adecuado a los fines y área que se requiere modelar y la información que se requiere obtener. Entre los aspectos de importancia que se deben considerar en la elección de un modelo, es que se adapte a los fiordos que se requiere analizar, debe considerar los flujos de la industria salmoniculora, en relación a flujos químicos (carbono orgánico, desechos nitrogenados y oxígeno disuelto), y debe permitir el escalamiento y representación de los impactos modelados a una escala hidrodinámica a nivel de cuenca. Un modelo que cumpla con los requerimientos antes mencionados, entregará información de alto valor para ser utilizada en el manejo de ecosistemas de fiordos, junto con data de importancia para el mejoramiento de los aspectos productivos del cultivo. Sin embargo, para que estos modelos sean de mayor utilidad, es necesario que sean simples de utilizar, y que los parámetros necesarios para su *input* de información, sean factibles de estimar a partir de observaciones oceanográficas y químicas, además de la información productiva disponible. En este sentido, y en el caso de Chile, es poco factible el utilizar este tipo de modelos para analizar el impacto de esta actividad, debido a que no se tiene información certera ni a las escalas espaciales necesarias para desarrollar esta modelación en todo el territorio donde se desarrollan actividades de cultivo de peces. Sumado a lo anterior, es que el territorio donde se desarrolla la actividad salmoniculora es amplio y con una geomorfología diversa, lo que repercute directamente en diversos tipos de medio ambiente acuático, con particularidades en sus batimetrías y regímenes de corrientes.

Tabla 6. Modelos utilizados para cuantificar el impacto de las actividades de cultivo de peces. Se describe la función de cada uno, los parámetros utilizados como *input* para su uso, y el resultado entregado de la aplicación de este. Desarrollado a partir de información de Tapia y Giglio 2010 e IFOP 2015.

Modelo o índice	Función y parámetros utilizados	Resultado
Depomod	Modelo que permite evaluar que superficie será afectada por la deposición de partículas residuales y de carbono orgánico en el sedimento a escala local. Utiliza información de corrientes (velocidad y dirección), profundidad del sector, velocidad de sedimentación de partículas aportadas al medio e información productiva.	Predicción de área de dispersión de residuos sólidos (fecas y alimento no consumido), y el Carbono Orgánico Total en el área.
Ecuación de Gowen	Modelo de simulación de la dispersión de sólidos en el fondo marino cercano a una concesión. Utiliza información de la corriente (velocidad y dirección), profundidad donde se realizó la toma de muestra de corriente y velocidad de sedimentación de las partículas residuales (alimento no consumido y fecas).	Áreas de sedimentación y dispersión de residuos sólidos presentados en un sistema de ejes cartesianos.
Simused	Predecir dispersión y tasas de sedimentación de material orgánico particulado sobre fondo marino de centros de cultivo Utiliza corrientes (velocidad y dirección), dispersión vertical y horizontal, batimetría, dimensión y número de balsas-jaulas, tipo de alimento, y materia orgánica residual.	Mapas bi y tri dimensionales de tasas de sedimentación. Tasas de sedimentación de materia orgánica.
MOM	Estimación de biomasa para mantención de calidad ambiental en columna de agua y sedimentos. Utiliza especie de pez, tipo de alimento, dimensión y número de balsas jaula, ciclo de producción, variabilidad ambiental (temperatura y corrientes), concentraciones ambientales de oxígeno y amonio.	Producción máxima para cada mes y año, según oxígeno y amonio en columna de agua, y oxígeno en agua de fondo,
Opensed	Predice las tasas de depositación de carbono en sedimentos bajo balsas jaulas, a partir de tasas de pérdida de alimento y fecas. Utiliza velocidad de corrientes, velocidad de sedimentación de pellet y fecas, batimetría, dimensiones de centro de cultivo, biomasa cultivada en un año.	Dispersión de partículas en dos dimensiones, área de acumulación de materia orgánica en sedimento de fondo.

6.3. *Análisis comparativo de las normativas internacionales y nacionales*

6.3.1. Legislación nacional

En la entrada en vigencia del Reglamento Ambiental para la Acuicultura (RAMA D.S. MINECON N°320 de 2001), en el año 2002 comienzan a aplicarse sus disposiciones a la evaluación ambiental (Fuentes, 2014). Según la caracterización dada por el autor, se señala que esta legislación, en conjunto con el RESA (D.S. MINECON N°319, de 2001), no establece medidas preventivas de resguardo ambiental sino condiciones de acceso y operación mínimas (Fuentes, 2014), y sumado a lo anterior que la determinación de las metodologías y procedimientos específicos de aplicación esta dados por sus resoluciones acompañantes. Lo anterior en consideración a que los avances en las técnicas y tecnologías aplicadas a las actividades de cultivo avanzan rápidamente en su desarrollo, por lo que se debe mantener una actualización constante de estas técnicas en las resoluciones, que es más operativo que la modificación del decreto supremo, ya que este debe pasar por la Contraloría General de la República, eliminando la operatividad del reglamento.

En relación específica al Reglamento Ambiental para la Acuicultura (RAMA), las modificaciones indicadas en el periodo entre los años 2002 a 2007, incorporan condiciones ambientales para el ejercicio de la actividad de acuicultura para todos los cultivos (Fuentes, 2014). En este sentido el reglamento en comento introduce para todos los cultivos:

- Distancias mínimas, salvo las algas, entre centros de cultivo intensivos de 1,5 millas (2.778 metros), y de 200 metros entre centros de cultivo extensivo, y 400 metros entre centros intensivos con alimentación exclusiva de algas y los centros de cultivo extensivos (Fuentes, 2014).
- Instrumentos de evaluación ambiental específicos, tales como la caracterización preliminar del sitio (CPS) y los informes ambientales (INFA). El primero tiene objetivo, determinar las condiciones del sitio donde se emplazará la actividad de cultivo, generando una descripción de este.

6.3.2. Legislación internacional

La legislación europea contempla que el manejo ambiental de la acuicultura, está basado en muchas piezas, como legislación nacional y acuerdos internacionales (convenciones firmadas por los estados miembros). Correspondiente a actividades específicas asociadas con la acuicultura, es probable que se apliquen una o más piezas de legislación sobre esta actividad, ejemplo, introducción de especies no nativas, protección del fondo marino, adición de nutrientes al medio, etc. Cabe señalar que los países europeos y Canadá en específico, tienen mayor desarrollo de la normativa tendiente a regular las actividades de cultivo con un objetivo de resguardo medio ambiental, tendiente a la sustentabilidad de la actividad, esto debido a tiene un mayor tiempo desarrollando el cultivo de peces en su territorio.

6.3.2.1. Legislación Noruega

Según la información entregada por FAO 2014, la legislación noruega en este ámbito, el Acta de Acuicultura del 1985 enmendada en 2003, es el principal cuerpo legislativo, abarca en términos territoriales, todas las aguas donde se pueda cultivar, tanto continental como marina. También incluye regulación para todas las especies cultivadas, abarcando todo el proceso productivo, desde sus reproductores hasta la cosecha, producción de peces y ranching marino. También regula los cultivos comerciales, como los llevados a cabo con fines científicos y educativos. Su objetivo es promover la rentabilidad y competitividad de la industria acuicultora dentro de un marco regulatorio de desarrollo sostenible y contribuyendo a crear valor en la zona costera.

La normativa establece el sistema de licencias y la aplicación de temáticas como la de estándares medioambientales, utilización del borde costero, registró transferencias e hipotecario de las licencias, así como el control y aplicación de la normativa. El organismo responsable de la administración de esta Acta, es el Ministerio de Pesquerías y Asuntos Costeros, el que a través del establecimiento de regulaciones detalladas entregan instrucciones relacionadas con las disposiciones de la ley. Respecto al organigrama de funcionamiento, existe un Directorio de Pesquerías, cuerpo administrativo dentro del ministerio, el cual tiene la responsabilidad de la coordinación, administración y ejecución de

la vigilancia y control del sector acuicultor. Cabe señalar que el Acta de Seguridad de los Alimentos (2003), también se relacionan con el manejo, control y desarrollo de centro de cultivo de peces, ya que regulan aspectos relacionados con la producción, cultivo y distribución de comestibles, alimentos y semillas, y otros asuntos relacionados con la salud animal y vegetal, por lo que se aplica a la producción y procesamiento de peces. Los encargados de la administración de esta acta son los Ministerios de Salud, Pesquerías y Agricultura.

Según lo señalado por FAO, las consideraciones ambientales establecida en el Acta de Acuicultura de la legislación Noruega, son relevantes antes, durante y después de la obtención de la licencia para desarrollar la actividad de cultivo. Se señala en específico que la licencia o permiso para ejercer la actividad de cultivo, será concedido solo si se es ambientalmente responsable, y su instalación no revierte riesgos de contaminación, propagación de enfermedades, para la salud humana, para trafico legal, para otra actividad de explotación, o para el medio ambiente circundante. En relación a los requerimientos ambientales considerados en el Acta, esta establece que el Ministerio podrá requerir, por decisión o regulaciones administrativas, que toda persona que posea o solicite una licencia de acuicultura deberá llevar a cabo los estudios ambientales necesarios y documentar las condiciones ambientales del lugar en el momento de la creación, el funcionamiento y el abandono de las instalaciones de acuicultura. Entre los requerimientos incluidos en el Acta, sobre la regulación para la obtención de licencia (Licensing Regulation 2004), se requiere que todas las solicitudes para obtención de una licencia de cultivo deben incluir lo siguiente: a) información respecto a las corrientes en el sitio; b) para acuicultura marina, un mapa documentado según lo señalado en la norma estandarizada para el cultivo de peces (NS 9410 - Muestreo ambiental para jaulas de cultivos de peces) o como se indica en un estándar internacional equivalente; c) también para acuicultura marina, los resultados de un muestreo ambiental del fondo del sector donde se realiza la solicitud, también según la normativa estándar correspondiente (NS 9410 o la equivalente internacional).

El Reglamento en relación con la evaluación de impacto (2005), adoptada en virtud de la Ley relativa a la planificación y construcción (1985), incluye los requisitos relacionados con la realización de evaluaciones de impacto ambiental. De acuerdo con el reglamento, una EIA se debe llevar a cabo para grandes instalaciones de acuicultura y establecimientos de incubación con licencia para 5 millones de alevines o más, si estas actividades pueden tener efectos significativos sobre el medio ambiente, los recursos naturales o de la comunidad. El Reglamento incluye una disposición que detalla las actividades que se pueden considerar como teniendo estos efectos (FAO 2014).

Según la regulación relativa a la operación de acuicultura, incluida en el acta de acuicultura 2003, los muestreos ambientales en los sitios donde de las balsas de cultivos de peces deben ser llevados a cabo como parte de la operación de la instalación de acuicultura. El análisis del fondo marino donde se ubican los cultivos de peces deben ser llevados a cabo de acuerdo a los estándares Noruegos NS 9410 muestreo ambiental de centros de cultivo de peces o el equivalente (FAO 2014).

Para la acuicultura del salmón, la trucha y la trucha arco iris, un estudio ambiental se llevará a cabo por primera vez cuando la biomasa o la densidad este en su mayor punto durante un ciclo de producción. Para otras especies, la primera encuesta se llevará a cabo cuando el nivel de producción ha alcanzado un tercio de la biomasa máxima aprobada (FAO 2014).

Los resultados de todos los muestreos deben ser presentados a las oficinas regionales del Directorio de Pesquerías. Si los muestreos ambientales muestran condiciones inaceptables, nuevos muestreos deben ser realizados. Si los resultados de estos nuevos muestreos siguen siendo inaceptables, el Directorio de Pesquerías puede ordenar que el sitio quede en latencia. La orden no puede ser anulada mientras no se realice un nuevo muestreo que muestre que las condiciones ambientales son aceptables (FAO 2014).

Según la legislación relativa a Clarificaciones de Consecuencias (1999), adoptada por el Acta de Construcción y Planificación, los cultivos de peces aplican para someterse a un Estudio de Evaluación Ambiental. Existe obligatoriedad de someterse a este instrumento en el casi de

instalaciones de acuicultura que no sean consistentes con los planes municipales de desarrollo de borde costero o que están situadas en áreas protegidas. La administración del Acta de Acuicultura (2003), en específico la figura del Ministro, puede instruir que profesionales adecuados realicen evaluaciones de impacto ambiental documentando el estado donde se sitúa o emplazará el centro de cultivo. En base a los resultados de estos estudios, el Ministro puede instruir condiciones específicas de operación para este centro.

Fuera de las consideraciones ambientales, la Ley de Acuicultura (2003) da a conocer además que las instalaciones y equipos utilizados para las actividades de acuicultura se diseñan adecuadamente, tienen características propias, y deben ser utilizados con precaución necesaria por personal competente (FAO 2014).

6.3.2.2. Norma canadiense

Según lo señalado por FAO en su visión general sobre la normativa acuícola nacional de Canadá, la actividad de cultivo esta supervisada por una combinación de instituciones con injerencia a nivel federal, provincial y local. La autoridad responsable de regular a la industria acuícola es el Departamento de Pesca y Océanos de Canadá (DFO por sus siglas en inglés), y que opera con jurisdicción federal, y se desglosa en 17 departamentos, que además se encargan de la regulación sobre todos los recursos pesqueros, su comercialización, conservación y protección de recursos naturales, investigación y desarrollo. La norma a la cual se regula principalmente la actividad de cultivo es la Ley de Pesca (Fishery Act 1985). La cual se complementa con el Reglamento de Salud de los peces (Fish Health Protection Regulation), la regulación de las instalaciones acuícolas que afecten la navegación Transport Canada, el cual administra el proceso de evaluación ambiental en coordinación con Environment Canada y con la Agencia Canadiense de Evaluación Ambiental y bajo la Ley Canadiense de Evaluación Ambiental.

Otras dependencias y agencias que regulan la actividad de cultivo son:

- Health Canada
- Agriculture and Agri-Food Canada

- Agencia Regulatoria para el Manejo de Plagas (Pest Management Regulatory Agency)
- Agencia Canadiense de Inspección Alimentaria (CFIA) (Canadian Food Inspection Agency).

Estas dependencias y agencias tiene la finalidad de garantizar la inocuidad y calidad de los productos pesqueros, alimentos, medicamentos veterinarios y vacunas bajo la Ley de Inspección de Peces (1985) (Feeds Act), la Ley de Alimentos (1985) Food and Drugs Act, y la Ley de Alimentos y Medicamentos (1985) (Food and Drugs Act) y la Ley de Productos para el Control de Plagas (2002) (Pest Control Products Act). El CFIA también administra el Programa Nacional de Salud de Animales Acuáticos (NAAHP) conjuntamente con el DFO.

La normativa canadiense también contempla diferentes definiciones de la actividad de acuicultura, y estas dependen de las legislaciones provinciales. Aun cuando La Ley de Pesca (1985) (Fisheries Act) federal, no define el término acuicultura, estas se encuentran definidas en las diferentes legislaciones provinciales. Así por ejemplo, la Ley de Pesca de Columbia Británica (1996) (The British Columbia Fisheries Act), define a la acuicultura como “la cría y cultivo de plantas acuáticas... o peces, con fines comerciales, en cualquier ambiente acuático o en contenedores de agua fabricados por el hombre e incluye la cría y cultivo de mariscos sobre, en o bajo la zona de mareas o en agua”, y la, en la Ley de Acuicultura de Newfoundland (1990) (Newfoundland Aquaculture Act), la acuicultura se define como “el cultivo de peces, moluscos, crustáceos, plantas acuáticas y otros organismos acuáticos, con una intervención en el proceso de cría para propiciar la producción mediante el repoblamiento, alimentación y protección de depredadores; e incluye la roturación de suelos y los procesos para mitigar la degradación ambiental y la utilización de artes y equipos necesarios”. Por otro lado, la Ley de Acuicultura de New Brunswick (1988) (New Brunswick Aquaculture Act), define la acuicultura como “el cultivo de plantas y animales acuáticos, pero no incluye el cultivo de plantas y animales acuáticos en laboratorio con fines experimentales o en un acuario”.

Mantienen además un código nacional para la acuicultura responsable, que entrega una serie de estándares nacionales para la inocuidad alimentaria, manejo ambiental y trazabilidad. Los códigos de conducta enfocados específicamente en la industria acuícola también se han desarrollado a nivel provincial. Es así como por ejemplo, la Asociación de Columbia Británica (BC) de Acuicultores de Salmón estableció un Código de Práctica en 2005 (Code of Practice). Este Código corresponde a un compromiso de todos sus miembros los cuales se obligan a ejercer prácticas ambientales sustentables y de inocuidad, asegurando así la calidad del producto. Todos los miembros de la Asociación de Acuicultores de Salmón de BC deben implementar el Código de Práctica en todos los sitios de operación de sus granjas. Contiene lineamientos para el manejo y disposición de material de desecho, confinamiento de organismos, mortalidad de los peces y agua sanguinolenta, mantenimiento de redes, control de depredadores, apariencia del sitio, prácticas de manejo, líneas genéticas, manejo de alimentos balanceados, bioseguridad y manipulación de combustibles y materiales peligrosos.

Además están suscritos a numerosos tratados internacionales de conservación de especies, comercio internacional, salud animal, entre otras.

También se han desarrollado algunas organizaciones regionales en provincias de Canadá y Estados Unidos, con objeto de minimizar los impactos negativos de las actividades humanas sobre recursos pesqueros. De las pertenecientes al sector acuícola, se enfocan en la conservación de especies, control sobre especies exóticas y plagas, control de enfermedades de peces (enfaticando en algunos casos en salmones). Algunas de estas son:

- Comisión de Pesca de los Grandes Lagos: tiene como finalidad el generar políticas sobre control de enfermedades de peces y requerimientos de sanidad para la importación de salmónidos y un borrador de política sobre la introducción de especies exóticas.
- Panel de los Grandes Lagos sobre Especies de Plagas Acuáticas Molestas: identificar asuntos relativos de las especies exóticas en los Grandes Lagos, hacer

recomendaciones, asesorar a los intereses públicos y privados sobre los esfuerzos de control; y someter un reporte anual al Equipo de Trabajo describiendo las actividades de prevención, investigación y control en los Grandes Lagos

- Comité para la Protección de la Salud de los Peces del Pacífico Noroeste: trabajan para establecer estándares para la protección de la salud de los salmónidos.

Del procedimiento para la utilización del suelo y las aguas, existe una coordinación a nivel federal con el nivel provincial y municipal o local. Estas solicitudes están bajo la jurisdicción conjunta de los gobiernos federales, provinciales y locales. La ley de protección de las aguas navegables, tiene la responsabilidad de la protección del medio, y a través de esta ley se puede solicitar una evaluación de impacto ambiental según lo estipulado en la ley canadiense de evaluación ambiental, con objeto de proteger la pesca silvestre y el ambiente marino, y simultáneamente garantizar una navegación segura.

En Canadá, la regulación del acceso a suelo y agua para actividades acuícolas está bajo la jurisdicción conjunta de los gobiernos federal, provincial y local. Todas las propuestas de acceso a suelo y agua para operaciones acuícolas pasan por procesos de referencia interdependencias, coordinado a nivel provincial.

El Departamento federal de Pesca y Océanos Canadá (DFO, por sus siglas en inglés) ejerce una coordinación entre los ministros provinciales para la revisión federal de solicitudes de acceso a suelo y agua para acuicultura, con la responsabilidad de garantizar la compatibilidad con la Ley de Pesca (1985). Transport Canada debe velar por el cumplimiento de la Ley de Protección de Aguas Navegables (1985) (NWPA) (Navigable Waters Protection Act), por la cual es posible de solicitar y requerir una Evaluación de Impacto Ambiental según lo establecido en la Ley Canadiense de Evaluación Ambiental (1992) (Canadian Environmental Assessment Act) para proteger la pesca silvestre y el ambiente marino y simultáneamente garantizar la navegación segura.

Canadá cuenta con una legislación específica en materias de evaluación de impacto ambiental, (Ley Canadiense de Evaluación de Impacto Ambiental 1992 CEAA), y su

reglamento constituye la base normativa para el requisito federal de evaluación de impacto ambiental. Transport Canada debe realizar esta evaluación según lo estipulado por CEAA, de los proyectos de acuicultura marina para emitir una autorización según la ley de protección de aguas navegables, esto es para la construcción y desarrollo de trabajos en aguas navegables o por la alteración dañina o destrucción del hábitat de los peces. La CEAA debe identificar qué factores deben tomarse en cuenta en la evaluación de un proyecto, incluyendo sus efectos ambientales, consulta pública y medidas de mitigación de los impactos ambientales negativos. Los efectos ambientales son específicamente definidos por la CEAA como “cualquier cambio del ambiente que pueda causar el proyecto, incluyendo todo efecto en las condiciones de sanidad y socio-económicas, sobre el patrimonio físico y cultural, en el uso actual del suelo y los recursos de personas aborígenes, o en cualquier estructura, sitio u objeto de valor histórico, arqueológico, paleontológico o arquitectónico; así como cualquier cambio al proyecto que sea causado por el ambiente, sea que ocurra dentro o fuera de Canadá.”

Existe dentro de la normativa tanto del poder federal como provincial, prohibición de la alternación nociva de hábitat de peces y depósito de sustancias nocivas en el medio. Para hacer cumplir esta disposición, en el estado de Columbia Británica el Ministerio del Ambiente, tiene la responsabilidad de desarrollar y hacer valer los estándares sobre residuos generados por la acuicultura. En este sentido, desarrolla monitoreos ambientales anuales y auditorías a fin de establecer el efecto de las actividades de cultivo sobre el ecosistema marino, y evaluar el cumplimiento de las normas. Entre las actividades específicas para dar cumplimiento a estos fines se encuentran: a) revisiones de la información ambiental de la industria; b) monitoreo a los sedimentos de las salmonicultras; c) desarrollo de protocolos de muestreo y aseguramiento de calidad; d) establecimiento de prioridades para el monitoreo de los sedimentos en centros de cultivo de salmón y e) muestreo ambiental de los centros de cultivo de salmón. Además en el 2002, el Ministerio del Ambiente dicta el Reglamento de Control de Residuos de la Piscicultura, el cual incluye a todos los centros de cultivo de peces, los cuales deben registrarse ante el citado ministerio y entregar

periódicamente información actualizada sobre su actividad. Los centros deben garantizar en todo momento el estado ambiental del fondo marino adyacente a cada centro, cumpliendo así con las normas de sedimentos en los aspectos químicos y biológicos. Para dar cumplimiento a este punto, los titulares de estos centros deben desarrollar un programa de monitoreo que establezca un protocolo y periodicidad de muestreo, el cual debe ser aprobado por la autoridad competente y debe contener la medición de:

- Corrientes (parámetros físicos)
- Muestreo de sedimentos blandos y duros
- Análisis biológico y de contaminantes (pesticidas y metales)

El Ministerio está facultado para solicitar auditorias y realizar inspecciones a fin de fiscaliza el cumplimiento y la fiel ejecución de estos programas, asegurando de esta manera que los programas aplicados de forma correcta, cumpliendo así con la protección del medio ambiente.

Tabla 7. Comparación de principales aspectos y exigencias en el ámbito ambiental, entre las normativas acuícolas de Chile, Canadá y Noruega.

Aspecto	Chile	Canadá	Noruega
Autoridad competente	Subsecretaria de Pesca y Acuicultura	Departamento de Pesca y Océanos y Gobiernos Federales y Provinciales	Ministerio de Pesquerías y Asuntos Costeros
Exigencias y evaluaciones ambientales	CPS e INFA	Código Nacional para Acuicultura responsable Legislación federal específica Programas específicos de monitoreo	Muestreos ambientales en los centros de cultivo de peces según NS 9410.
Frecuencia y periodicidad del monitoreo	Cada 2 años para cultivos extensivos, y cada año calendario o ciclo productivo para cultivos intensivos.	Depende de la legislación federal y provincial Se deben desarrollar programas específicos por	Muestreo en momento de mayor biomasa del ciclo productivo

		centro de cultivo, el cual debe ser aprobado por la autoridad competente	
Requerimientos ambientales	<ul style="list-style-type: none"> - Corrientes (solo en CPS) - Muestreo de sedimentos - Muestreo columna de agua 	<p>Depende de la legislación federal y provincial.</p> <p>En el caso de la Columbia Británica deben muestrear:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Corrientes - Sedimentos blandos y duros - Análisis biológico y de contaminantes 	<ul style="list-style-type: none"> - Correntometría - Mapa documentado - Muestreo ambiental de fondo - Evaluación de impacto ambiental

6.3.3. Análisis comparativo

Según los antecedentes revisados, existen tanto similitudes como diferencias entre las normativas de Chile, Noruega y Canadá. Considerando la estructura organizacional de la autoridad competente, se observa que en el caso de Chile y Noruega, concentran una administración centralista, donde las normas rigen de la misma manera para todas las áreas donde se desarrollen cultivos de peces. A diferencia de la norma canadiense, donde los requerimientos y exigencias dependen del estado federal y del gobierno local donde se desarrolle la actividad de cultivo, siendo la normativa nacional, solo un lineamiento de lo que se debe cumplir para los cultivos de peces, y existiendo procedimientos y exigencias específicas según la localidad y estado donde se desarrolle. Cabe señalar además, que la normativa de Canadá, involucra también la injerencia coordinada de otras autoridades con competencia ambiental (Agencia de Transporte, Agencia de Evaluación Ambiental, Agencia de control de Pestes o Plagas, entre otras), lo que complejiza la aplicación de exigencias a los titulares de centros de cultivo.

En relación a la obtención de los permisos para desarrollar cultivos, en el caso de Noruega existen consideraciones ambientales que son relevantes antes, durante y después de la

obtención de las licencias, dejando claro que el permiso será concedido solo si se es ambientalmente responsable, lo que se monitorea a través de un muestreo para medir el impacto en el fondo marino bajo los centros de cultivo, el cual su metodología y análisis esta normado (NS 9410). La figura es algo similar en la legislación chilena, donde a través de las INFA e inicialmente la CPS, se desarrolla un levantamiento de información del estado del fondo de los centros de cultivo, y posteriormente se monitorean a través del cumplimiento de las exigencias de límites de aceptabilidad de ciertos parámetros, la mantención del estatus ambiental del área donde se desarrollara la actividad de cultivo. El no cumplimiento de estos límites en el caso de Chile, se sanciona con restricciones en la producción y operación de los centros de cultivo, y en Noruega con mantener en latencia un sitio que ha presentado 2 resultados consecutivos de su evaluación ambiental como inaceptable.

Respecto a los parámetros a monitorear, las 3 normativas analizadas, generan y mantienen una obligatoriedad para con los titulares o administradores de los centros de cultivo de salmónidos, de un muestreo periódico de las condiciones de fondo bajo los centros de cultivo. Aun cuando la forma de realizar el muestreo y la periodicidad del mismo, incluso los tipos de parámetros a considerar, varían de acuerdo a los distintos países, la exigencia de mantener una supervisión del estado ambiental del ecosistema de fondo se presenta como una exigencia transversal en todos los países.

Como un punto no incluido como parte de los requerimientos ambientales, cabe señalar que la norma Noruega hace distinción entre grandes inversiones de acuicultura, a los cuales se les solicita mayores requerimientos para el cumplimiento ambiental, lo cual no ocurre en Chile para pequeños cultivadores de peces. En este sentido, las realidades entre los distintos titulares de concesiones en Chile son diametralmente distintas en términos de inversión y volumen de producción, generando que las medidas normativas aplicados a unos y otros no siempre son adecuadas para no repercutir de manera negativa en el desarrollo de industria mediana.

6.4. Bases metodológicas y diseño de un Índice de Calidad Ambiental para ser aplicado a los centros de cultivo de salmones.

En base a lo recopilado en las revisiones bibliográficas desarrolladas a lo largo del trabajo, donde se consideran las acciones previas que deben realizarse para generar un índice de fácil utilización y que entregue información resumida sobre el estado ecológico en el que se encuentran los ambientes intervenidos por centros de cultivo y engorda de salmones, se desarrolla una propuesta de índice de calidad ambiental para ser aplicado a las actividades de cultivo de peces y el cual integre un mayor volumen de información. Tal como se señala en los puntos anteriores, el cultivo de salmones es una actividad ampliamente invasiva y revierte un problema ambiental dado principalmente por el gran aporte de materia orgánica que entrega al medio, además de otras consecuencias como son la intervención sobre el paisaje, vertimiento de basura y de sustancias contaminantes, la introducción de especies aloctonas, entre otros, por lo que es necesario mantener una estricta y completa supervisión de esta actividad en relación a que los titulares de los centros de cultivo cumplan con los lineamientos y normas tendientes a resguardar el medio ambiente circundante y adyacente donde se desarrolla la actividad. Es por este motivo, que un índice de calidad ambiental se configura como una buena alternativa a fin resumir una gran cantidad de información entregando un resultado concreto que es útil como una herramienta de control para evaluar el cumplimiento de los estándares ambientales.

Para el desarrollo y estructuración del índice señalado, se siguieron algunos de los lineamientos metodológicos entregados por Escobar, 2006, donde en su texto *“Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas”*, el autor desarrolla y aplica la metodología para la generación de un índice de calidad ambiental que fuese aplicable para grandes zonas urbanas, y que en él se resumiera como afecta un conjunto de factores (de manera positiva o negativa), a un territorio no homogéneo. En su publicación el autor señala que el índice que nazca de la aplicación de esta metodología, será considerado como una variable latente explicada por un conjunto de indicadores simples que lo determinan. Bajo estas consideraciones metodológicas, se recoge desde la revisión y

análisis de la normativa nacional y sus requerimientos de muestreo, solicitados para dar cuenta del estado ambiental de las áreas aledañas a los centros de cultivo, los parámetros o indicadores simples ahí solicitados y se evalúa la pertinencia de aplicarlos para ser incluidos dentro del índice de calidad, y como estos pueden dar cuenta de un efecto negativo o positivo en el ambiente repercutiendo en el resultado del índice a generar.

Cabe señalar que como resultado de la revisión bibliográfica tanto nacional como internacional al respecto, debe tomarse en cuenta de que no existen índices de calidad ambiental aplicados a actividades de acuicultura, ni sobre cultivos de salmones en específico, es por esto que lo que aquí se presenta tiene un valor desde la perspectiva teórica y servirá como base para su posterior comprobación a través de su aplicación empírica y utilizando datos reales de los centros de cultivo.

Para la construcción del índice el autor en su texto señala que se debe seguir el siguiente procedimiento:

- 1 nivel: identificación de indicadores simples de calidad ambiental
- 2 nivel: agrupación de indicadores por área temática
- 3 nivel: construcción de componentes
- 4 nivel: construcción del índice

Cabe señalar que utilizó esta metodología como guía, no aplicándose en su totalidad, dada la complejidad principalmente en la obtención de toda la data y de la necesidad de desarrollar un Sistema de Información Geográfica que homologue los datos y los lleve a un plano espacial. Es por esto que se consideraron sus lineamientos y algunos aspectos de lo señalado por el autor, sin embargo se modificó su metodología en su aplicación, a fin de simplificarla y hacerla más operativa.

6.4.1. Selección de indicadores simples y agrupación por área temática

Al analizar los indicadores simples solicitados por la normativa nacional, se identificaron y seleccionaron una serie de parámetros que entregan una buena identificación y

caracterización del estado ambiental del estado del área donde se encuentran emplazados los centros de cultivo (Tabla 5). Estos recogen información de manera directa e indirecta sobre el aporte de materia orgánica al medio, de la susceptibilidad de acumular más materia orgánica o favorecer procesos de descomposición biológica, de la condición de anoxia en los sustratos, y sobre el estado de la fauna aledaña al centro. Sin embargo, en la normativa los valores resultantes de sus monitoreos se presentan como un resultado por sí sólo, y no en una sumatoria de cómo estos parámetros están siendo afectados en una misma área. Otro aspecto a considerar para la elección de los parámetros, es seleccionar aquellos que no estén naturalmente presentes en el medio o sector a evaluar, o que cuya presencia se identifique o asocie directamente con algún impacto que generen las actividades de cultivo de salmones, como por ejemplo la presencia de antibióticos o antiparasitarios en el sedimento, como un elemento que es eliminado al medio marino posterior a su utilización a través de tratamientos a los salmones en los centros de engorda. Con los indicadores identificados previamente, se consideró la elección de los indicadores simples adecuados considerando y entendiendo como funciona el sistema que se quiere explicar y si cumplen con la siguiente selección de los criterios descritos por el autor:

- Deben estar referidos a un campo de aplicación temporal y espacial definido, de forma que permita la comparación intertemporal y entre regiones.
- Deben basarse en la validez científica. Es decir, el conocimiento científico de las relaciones de causalidad, sus atributos y su significado deben estar bien fundamentados.
- Debe ser sensible a cambios, en la medida que deben señalar cambios de tendencia en las situaciones que representan, preferiblemente en el corto plazo.
- Deben tener una cobertura geográfica nacional o basarse en escalas regionales que puedan ser agregadas a ese nivel.
- Deben ser costo-eficientes. Los indicadores deben ser prácticos y realistas y su costo debe estar considerado en la selección. Esto puede llevar a trade-offs entre el volumen de información necesario y el costo de recolección.

- Existencia de los datos como un criterio de selección posterior a la definición de la lista amplia de indicadores.

Bajo estas consideraciones del cumplimiento de los criterios antes señalados, recogiendo los parámetros solicitados por la normativa nacional y presentada en la Tabla 5, más otros parámetros identificados como parte de la revisión bibliográfica, se identificaron y seleccionaron 16 parámetros, clasificados en 6 ámbitos, para ser incluidos dentro del índice de calidad ambiental (Tabla 8).

Tabla 8. Parámetros seleccionados para ser incluidos como indicadores simples para conformar el índice de calidad ambiental, y clasificados por ámbito en donde se realiza la medición. Cabe señalar que estos parámetros fueron seleccionados debido a que cumplen con los criterios según lo señalado por Escobar 2006.

Indicadores simples	Ámbitos
Oxígeno disuelto (mg/L)	Columna de agua
Velocidad de corriente (m/s)	Sedimentos
pH	
Redox (mV)	
Temperatura (°C)	
Materia orgánica total (%)	
Granulometría	
Presencia de Antibióticos o antiparasitarios	
Macrofauna bentónica (riqueza, diversidad y dominancia)	Medio biótico
Análisis microbiológico (<i>Beggiatoa</i> spp)	
Unidad geográfica (clasificación fiordo, canal, etc)	Geografía
Agrupación de concesiones	
Distancias centros poblados (km)	
N° Denuncias en la inspección del Trabajo	Leyes Laborales

Clasificación de bioseguridad del barrio (alta, media, baja)	Producción
N° centros de salmones en área geográfica o agrupación de concesiones	

6.4.2. Desarrollo y construcción del índice de calidad ambiental

Con estos parámetros seleccionados y categorizados, se procedió a clasificarlos de acuerdo a si estos se traducen en un impacto positivo o negativo, según los valores que puedan alcanzar al registrarse de sus mediciones en el medio. En este sentido, se clasificaron como un impacto negativo en el valor dentro del índice si este parámetro se encuentra fuera de los valores esperados para un ecosistema en su estado natural o con un mínimo de intervención. Para fijar estos valores o rangos, se consideraron los límites de aceptabilidad establecidos por la normativa nacional, en específico en lo señalado en la R. Ex. Subpesca N°3612/2009 y los cuales se presentan en la Tabla 4 del presente trabajo. Para los casos en los que no existe referencia o establecimiento de límites de aceptabilidad para parámetros específicos dentro de la normativa existente en materia ambiental, se indagó en la literatura antecedentes que entreguen rangos de valores que se presenten en ambientes no intervenidos, y que sean pertenecientes en específico al área de estudio. En el caso de los parámetros que no pueden valorarse cuantitativamente, se presentan estimaciones cualitativas que caractericen los diferentes rangos. Se presenta además, un parámetro que da cuenta sólo de información, y no contribuye con un valor ni cualitativo ni cuantitativo, pero que entrega información sobre otro punto que es cuantificable. De acuerdo a esta estimación y calificación de rangos, se genera una tabla (Tabla 9), donde se plasman los valores que constituyen un impacto negativo o positivo sobre cada ámbito.

Cabe señalar que de acuerdo a la metodología desarrollada por Escobar 2006, para la generación de su índice, creo un Sistema de Información Geográfico (SIG) con la información y data de todos los parámetros que él seleccionó. Posterior a esto, desarrolló un análisis estadísticos multivariado, Análisis de Componentes Principales (ACP), para realizar la

clasificación de los parámetros en cada uno de los ámbitos, hasta agregarse en un índice de calidad ambiental, el cual resume y confluye toda la información utilizada. En el caso de este trabajo, no se consideró necesario realizar este análisis considerados complejos, debido principalmente a que se utilizan parámetros tanto cuantitativos como cualitativos para calificar el impacto ambiental, además que existe información de carácter cualitativo que aún no se ha recogido y que no se encuentra disponible o estandarizada. Por lo que este trabajo se plantea principalmente, ser una primera aproximación al desarrollo del índice antes comentado, planteando desde ya que este deberá en una etapa posterior someterse a una validación utilizando data real y la evaluación de expertos en la temática.

Tabla 9. Calificación de los impactos como positivos o neutros, o negativos, según los valores cualitativos o cuantitativos, según corresponda, que alcanzan los diferentes parámetros que integran el índice de calidad ambiental propuesto.

Ámbito	Parámetros	Impacto negativo	Impacto positivo o neutro
Columna de agua	Oxígeno disuelto	Bajo los 2.5 mg/L	Sobre 2.5 mg/L
Sedimentos	Velocidad de la corriente	Bajo 5 cm/s	Sobre 5 cm/s
	pH	Bajo 7.1	Sobre 7.1
	Redox	Bajo 50 mV	Sobre 50 mV
	Materia Orgánica Total	Mayor a 9%	Menor a 9%
	Granulometría	Sustrato blando	Sustrato duro o semiduro
Medio Biótico	Macrofauna bentónica (diversidad, dominancia, riqueza)	Baja diversidad y riqueza, alta dominancia	Alta diversidad y riqueza, baja dominancia
	Análisis microbiológico (<i>Beggiatoa</i> spp)	Presencia	Ausencia
Geografía	Unidad geográfica (clasificación fiordo, canal, etc.)	Fiordo, seno o sector de baja circulación de agua	Canal, bahía abierta o área de baja retención
	Agrupación de concesiones	Entrega información sobre a qué agrupación de concesiones pertenece, y con esto, el número de	

		centros que la integran	
Leyes laborales	N° Denuncias a inspección del trabajo	Presenta denuncias	No presenta denuncias
Producción	Clasificación de bioseguridad del barrio (alta, media, baja)	Media y Baja	Alta
	N° centros de salmones en área geográfica o agrupación de concesiones	Máximo de centros operando por agrupación de concesiones	Menos del 60% del máximo de centros operando por agrupación de concesiones

Para la calificación de cada uno de los parámetros y sus clasificaciones de acuerdo a lo establecido en la Tabla 9, se establecieron valores teóricos dicotómicos para cada caso, es decir, 1 para una calificación positiva y 0 para una negativa. En la estructuración del índice se otorgó un peso específico a cada uno de los ámbitos analizados. En este sentido y según los antecedentes emanados de las revisiones a la normativa internacional y nacional, se le otorga un mayor peso a los ámbitos relacionados con el impacto sobre los sedimentos y sobre el medio biótico de los ecosistemas de fondo, debido a que estas áreas adyacentes son las que se ven mayormente afectadas por la actividad de cultivo de peces, como consecuencia del aporte de materia orgánica.

En este sentido, la estructura del índice se conforma de la siguiente manera:

Índice de Calidad Ambiental para Centros de Cultivo de Salmones (ICA Sal)	=	(2 x \sumSedimentos) + Columna de Agua + (2 x \sumMedio Biótico) + \sumGeografía + \sumLaborales + \sumProducción
----------------------------------------------------------------------------------	----------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Considerando una calificación positiva de los impactos, obteniendo un resultado de 1 para cada uno de los parámetros en todos los ámbitos, la suma de estos se traduce en un valor total de 19, correspondiente a la ponderación máxima del índice. Y en el caso de una calificación negativa de todos los ámbitos, este valor sería 0. Con estos valores máximos y

mínimo, se establecieron 4 clasificaciones (Tabla 10), para calificar el estado ambiental de los sectores donde se encuentran emplazados centros de cultivo de salmones. El rango superior Nivel I, se establece con una calificación de Buena, ya que da cuenta de que al menos los ámbitos de Sedimentos, Medio Bióticos y otro, se encuentran con una calificación positiva en todos sus parámetros. En el Nivel II, de calificación Regular, se interpreta que la mayor parte de los ámbitos son calificados de manera positivas, pero los ámbitos de Sedimentos y Medio Biótico, tiene una calificación negativa en al menos 3 de sus parámetros, o que solo estos ámbitos están calificados positivamente en todos sus parámetros. Para el Nivel III, de calificación Bajo, la calificación de los ámbitos Sedimentos, Medio Biótico y otros ámbitos debe ser negativa hasta el 50% de sus parámetros. Y para el Nivel IV, de calificación Muy Bajo, sobre el 50% de los parámetros en todos los ámbitos, debe calificarse como negativo.

Tabla 10. Clasificación del estado ambiental de los centros de cultivos de salmones, según resultados de la aplicación del Índice de calidad Ambiental propuesto.

Nivel	Calificación Estado Ambiental	Rangos	Color
I	Bueno	ICS Sal > 14	
II	Regular	$14 \geq \text{ICA Sal} > 10$	
III	Bajo	$10 \geq \text{ICA Sal} > 5$	
IV	Muy bajo	$\text{ICA Sal} \leq 5$	

Tal como se señaló anteriormente, recalcar que este índice debe ponerse a prueba y validarse a través de valores reales, reflejando así la realidad ambiental que se pretende evaluar a través de esta propuesta.

7. Discusión

Escobar 2006, señala en su texto que de la experiencia realizada en la ciudad de Manizales, Colombia, se trabaja con la hipótesis de que los problemas de gestión de las ciudades no son homogéneos, esto principalmente porque en una misma ciudad existen características tales como el clima, la topografía, comercio, industrias, zona residencial, entre otros, son heterogéneas por lo que se tipifican de distinta forma de acuerdo al sector donde se desarrolla el análisis. En este sentido, esta hipótesis sea ajusta mayormente para la construcción de esta propuesta, debido principalmente que la zona en donde se focaliza, está compuesta de una gran variedad de escenarios naturales, donde las características batimétricas, oceanográficas, topográficas, geomorfológicas, etc., son muy diversas respecto a las características geográficas de las 3 regiones donde se desarrolla el cultivo.

La calidad de los datos a utilizar para la elaboración de un índice es relevante, ya que si estos están malos, o son de calidad o procedencia dudable, los resultados e inferencias que se tengan respecto al resultado de este índice, no serán válidas y no se correlacionaran con la realidad ambiental del área donde se desarrolla el estudio.

De la información analizada, se desprende que son una gran cantidad de parámetros los solicitados en las INFA y CPS, para que den cuenta del estado ambiental del sector donde está emplazada la concesión de acuicultura. Sin embargo, los resultados fuera de los rangos de aceptabilidad establecidos según la normativa, para los parámetros de oxígeno disuelto, pH y redox, materia orgánica total y la inspección visual, son los únicos que generan un resultado de anaerobia como parte de la evaluación, el cual sí repercute en una sanción de prohibición de operar hasta que se recuperen la condiciones aeróbicas del sector. Teniendo en consideración que también se evalúan otros parámetros en conjunto con los antes señalados, estos no son considerados para al menos tomar acciones preventivas antes de llegar a un estado de anoxia del sector o incluirlo como un conjunto de factores alterados, que no necesariamente llegan a un estado de anoxia del área prospectada.

Por otro lado, el problema de la utilización de modelos de tipo oceanográficos, es la dificultad de contar con información oceanográfica, específicamente de corrientes y batimetría, de buena calidad y alta resolución. Además, corresponden a modelos complejos los que requieren un grado no menor de entrenamiento del personal quien utilizará estas herramientas, junto con una potente infraestructura de hardware donde poder desarrollar el modelamiento.

8. Conclusiones

- Fue posible identificar indicadores ambientales utilizados para establecer las condiciones ambientales de los centros de cultivo a partir de los parámetros solicitados en las INFA y CPS, sumado a la inclusión de parámetros que dan cuenta de la ubicación geográfica, los niveles de producción, los resultados de la evaluación en materia sanitaria y la cantidad de centros operando en un área. Cada uno de estos parámetros se consideró relevante de incluirlo debido a dan cuenta no solo de un valor por sí solo, sino que entregan un valor en conjunto del impacto que pueda a llegar a tener la actividad en un medio donde se desarrolla la actividad.
- No existen índices de calidad ambientales especiales para ser aplicados a la salmonicultura. Sin embargo, existe algunas herramientas aplicadas para el análisis ambiental de la acuicultura. Estas son principalmente modelos oceanográficos aplicados a escala local que dan cuenta de la acumulación de sedimento y materia orgánica en el sedimento de fondo. Estos necesitan como *input* una gran cantidad de información específica y de alta especificidad, tal como medición de corrientes en baja resolución, velocidades de sedimentación, regímenes de marea entre otros. Estos modelos revierten un dificultad desde el punto de vista técnico por la preparación del profesional que lo ejecutará, y de infraestructura software y hardware, para ser aplicado.
- La normativa nacional no difiere sustancialmente de la norma internacional, en relación a formas de solicitud de concesiones, requerimientos ambientales, y resguardo contra enfermedades. Las principales diferencias están dadas por la organización político regional/federal que existe en los distintos países. Coincide además de que en todos los países, la evaluación de la condiciones del sedimento se tornan como lo de mayor importancia para ser evaluado, reconociendo así el efecto nocivo de la instalación de centros de cultivo y su gran aporte en términos de materia orgánica al sedimento de fondo, afectado su composición y con esto a los ecosistemas de fondo.

- Se propone la formulación de un índice para ser aplicados a los centros de cultivo el cual es de fácil aplicación y no se requiere de una preparación experta para ser implementado y ejecutado. La mayor parte de la información que requiere ya está solicitada por las exigencias ambientales en las actividades de cultivo. Sin embargo, el desarrollo de este índice es teórico y está basado primeramente en la literatura específica y valores de aceptabilidad establecidos en la normativa nacional. Por lo que es necesario validarlo tanto ante la autoridad competente, como ante la comunidad científica y posteriormente aplicarlo con valores reales a fin de evaluar su comportamiento.

9. Bibliografía

- Bermúdez, J. (2007). Política y regulación ambiental de la acuicultura chilena. *Revista de Derecho de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso*(XVIII), 307-333.
- Biblioteca del Congreso Nacional. (1989). *Historia de la Ley N°19.892, Ley General de Pesca y Acuicultura*. Valparaíso.
- Bravo, S. (2012). Investigación sobre Salmonicultura en Chile. En E. Yañez, F. Plaza, M. A. Barbieri, & P. Rojas, *Pesquerías y Acuicultura en Chile: Desafíos y Oportunidades* (págs. 153 - 162). Valparaíso: Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia - Universidad Austral de Chile. (2009). *Evaluación Ambiental de la Condición de Fondo de las Áreas Geográficas de Uso Intensivo de la Salmonicultura en la Región de Aysén, Zonas Puyuhuapi y Yacaf*. Aysén.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente. (2008). Ecosistemas Marinos. En CONAMA, *Biodiversidad de Chile: Patrimonio y Desafíos* (págs. 96 - 105). Santiago de Chile: Ocho Libros Editores Ltda.
- Escobar, L. (2006). Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas. *Revista eure*, XXXII(96), 73-98.
- FAO. (1999). *Orientaciones Técnicas para la pesca responsables. Desarrollo de la Acuicultura - 5*. Roma: FAO Departamento de Pesca.
- FAO. (2003). *FAO Sala de Prensa*. Recuperado el 05 de septiembre de 2016, de Acuicultura: principales conceptos y definiciones:
<http://www.fao.org/spanish/newsroom/focus/2003/aquaculture-defs.htm>
- FAO. (2016). Estado Mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Roma. 224 pp.
- Fuentes, J. (2014). Evolución del régimen ambiental de la acuicultura en Chile. *Revista de Derecho de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso*, 441-477.
- Gross, P., & Hajek, E. (1998). *Indicadores de calidad y gestión ambientales*. Santiago de Chile: Universidad Católica de Chile.

IFOP. (2015). *Elaboración y validación de un diseño de muestreo de estaciones de referencia para INFAs de centros de cultivo (Primera Etapa)*. Valparaíso: IFOP.

Lerma, A. I. (25 de octubre de 2011). *Desarrollo Sustentable*. Recuperado el 12 de junio de 2016, de Indices de Calidad:
<http://anairislermadesarrollosustenable.blogspot.cl/2011/10/indices-de-calidad.html>

Muñoz, O. (2009). *Aguas arriba: la transformación socioeconómica de ecosistema Llanquihue – Chiloé, Chile durante los años 90*. Buenos Aires. 176 pp.

Subsecretaría de Pesca. (2003). *Política Nacional de Acuicultura*. Subsecretaría de Pesca. Valparaíso: Subsecretaría de Pesca.

Tapia, F., & Giglio, S. (2010). *Modelos para la evaluación de la capacidad de carga de fiordos aplicables a ecosistemas del sur de Chile*. Valdivia, Chile: WWF.

Toledo, C., & Yurisch, T. (01 de enero de 2015). *Fundacion Terram*. Recuperado el 12 de julio de 2016, de Fundacion Terram: <http://www.terram.cl/wp-content/uploads/2016/04/Industria-Salmonera-en-Chile-2002-2013-3.pdf>

Referencias WEB

FAO. Visión General del Sector Acuícola Nacional: Chile. Departamento de Pesca y Acuicultura [en línea]. <http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_chile/es> [consulta: 10 septiembre 2016]

FAO. 2014. National Aquaculture Legislation Overview. Norway. Departamento de Pesca y Acuicultura [en línea]. < http://www.fao.org/fishery/legalframework/nalo_norway/en> [consulta: 10 septiembre 2016]

FAO. Visión General del Sector Acuícola Nacional: Canadá. Departamento de Pesca y Acuicultura [en línea]. < http://www.fao.org/fishery/legalframework/nalo_canada/es> [consulta: 10 septiembre 2016]

Lerma, Ana Iris. 2011. Desarrollo Sustentable. Índices de Calidad: Índices Calidad Ambiental. [en línea]. < <http://anairislermadesarrollosustenable.blogspot.cl/2011/10/indices-de-calidad.htm>> [consulta: 12 junio 2016]

Norwegian Standard NS 9410. 2000. Enviromental monitoring of marine fish farms. [en línea]. < <http://www.ecasa.org.uk/Documents/MOMenglish.doc> > [consulta: 28 octubre 2016]

Normativa

Ley General de Pesca y Acuicultura, Ley N°18.862 de 1989 y sus Modificaciones. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. <http://www.subpesca.cl/institucional/602/articles-88020_documento.pdf> [consulta: 10 agosto 2016]

Modifica la Ley General de Pesca y Acuicultura en Materia de Acuicultura. Ley 20.434 de 7 de abril de 2010. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. < http://www.subpesca.cl/normativa/605/articles-11122_documento.pdf> [consulta: 06 septiembre 2016]

Reglamento de Medidas de Protección, Control y Erradicación de Enfermedades de Alto Riesgo para las Especies Hidrobiológicas, D.S. N° 319 de 24 de agosto de 2001. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. <http://www.subpesca.cl/normativa/605/articles-83903_documento.pdf> [consulta: 06 septiembre 2016]

Reglamento Ambiental para la Acuicultura, D.S. N° 320 de 24 de agosto de 2001. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. < http://www.subpesca.cl/normativa/605/articles-11019_documento.pdf> [consulta: 06 septiembre 2016]

Resolución que fija las Metodologías para elaborar la Caracterización Preliminar de Sitio (CPS) y la Información Ambiental (INFA), R. Ex. Subpesca N°3.612 de 29 de octubre de 2009. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. <http://www.subpesca.cl/normativa/605/articles-10517_documento.pdf> [consulta: 06 septiembre 2016]