



*Programa de Magíster en Economía de  
Recursos Naturales y del Medio Ambiente  
Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas*

*¿Qué factores influyen en las decisiones de densidad de cultivo en la industria del  
salmón en Chile? Un análisis retrospectivo de las regulaciones de siembra*

*Proyecto de Tesis para optar el grado de Magíster  
en Economía de Recursos Naturales y del Medio Ambiente*

*Por: José Esteban Moncayo Erazo  
Profesor Guía: Leonardo Salazar Vergara, PhD.  
Profesor Co-Guía: Rubén Avendaño Herrera, PhD.*

*Concepción, Chile 2023.*

## **Agradecimientos**

En primer lugar, me gustaría expresar mi más sincera gratitud a Dios, cuya bendición me ha permitido llegar hasta este momento. También quisiera agradecer a mi familia, quienes han sido mi apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, especialmente a mi señora Viviana y mi hija Arya, cuya paciencia y amor me han dado fuerzas para seguir adelante en este proceso. Adicionalmente, me gustaría expresar mi profundo agradecimiento a dos personas muy especiales, los profesores Leonardo Salazar y Rubén Avendaño. Su apoyo, dedicación y sabiduría han sido fundamentales para la realización de este proyecto, y no podría estar más agradecido por haber contado con su invaluable ayuda y orientación. Además, me gustaría extender mi más sincero agradecimiento a las personas que trabajan en la industria salmonera. Durante todo este proceso, no solo me brindaron orientación y guía de innumerables maneras, sino que también compartieron generosamente su conocimiento y experiencia sin esperar nada a cambio. Su ayuda ha sido valiosa para el éxito de este proyecto y estoy verdaderamente agradecido por haber contado con su apoyo incondicional.

Se agradece el financiamiento entregado por el proyecto FONDAP 15110027 y FONDAP 1522A0004.

## Resumen

Chile posee múltiples recursos naturales que le otorgan ventajas como productor de productos pesqueros. Entre ellos, la salmonicultura representa un sector económico importante, generando desarrollo en las regiones de Aysén y Los Lagos. Actualmente, la industria salmonícola se enfrenta a distintos escenarios regulatorios impuestos por las autoridades chilenas, lo cual implica elegir entre dos sistemas de siembras. El primero, la decisión de sembrar por el denominado PRS (Porcentaje de Reducción de Siembra), el cual implica reducir el número de siembra a cambio de sembrar a máxima densidad (17 kg/m<sup>3</sup> para salmón del Atlántico o 12 kg/m<sup>3</sup> para Coho y trucha arcoíris), o el segundo, siembras por densidad donde el número de siembra depende del comportamiento sanitario, ambiental y productivo de todos los integrantes de una ACS (Asociación de Concesiones de Salmón). Primero se identifican los principales determinantes en la elección a través de un modelo Logit para datos de panel y en segundo lugar se estiman los efectos marginales con las variables relevantes. Los resultados sugieren que, si la especie sembrada con anterioridad corresponde a salmón del Atlántico, la probabilidad de acogerse a PRS es del 36,6 % respecto a centros que no se tiene registros de la especie. Por otra parte, una calificación ambiental alta y media tienen un efecto negativo, mientras que una baja tiene un efecto positivo un sobre la elección de PRS. En otras palabras, una calificación baja aumenta la probabilidad de acogerse al PRS. Por último, el tamaño del holding y el número de centros operativos por región no tienen ningún efecto sobre la decisión.

**Palabras clave:** salmón, PRS, densidad, acuicultura, Logit para datos de panel.

## Abstract

Chile has multiple natural resources that give it advantages as a producer of fishery products. Among them, salmon farming represents an important economic sector generating development in the Aysén and Los Lagos regions. Currently, the salmon farming industry faces different regulatory scenarios imposed by the Chilean authorities, which implies choosing between two mutually exclusive stocking density systems. First, the Stocking Reduction Percentage (PRS, by its acronym in Spanish), which indicates reducing the stocking number in exchange for stocking at maximum density (17 kg/m<sup>3</sup> for Atlantic salmon or 12 kg/m<sup>3</sup> for Coho and rainbow trout) or, second, the stocking by density, where the stocking number depends on the biosanitary performance of all the members of an Association of Salmon Farming Concessions (ACS, by its acronym in Spanish). The main determinants of choice are identified through a logit model for panel data, and the marginal effects are estimated. The results indicate that if the species stocked previously corresponds to Atlantic salmon, the probability of receiving PRS increases by 36,6 % with respect to centers that do not have records of the species. Additionally, a high and medium environmental performance has a negative effect, while a low one positively affects the choice of PRS. In other words, a low score increases the probability of qualifying for the PRS. Finally, the size of the holding company and the number of operating centers per region do not affect the stocking density system decision.

**Keywords: salmon, PRS, density, aquaculture, logit for panel data.**

## Contenido

	<b>Pág.</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>11</b>
1.1 Introducción .....	11
1.2 Objetivos .....	18
1.2.1 Objetivo General.....	18
1.2.2 Objetivos Específicos .....	18
1.3 Hipótesis.....	19
<b>2. Revisión Bibliográfica .....</b>	<b>20</b>
2.1. Revisión General de la Industria Salmonera .....	20
2.2. Externalidades .....	23
2.2.1. Uso De Antimicrobianos.....	23
2.2.2. Escapes De Salmónidos .....	24
2.2.3. Conflictos Sociales.....	25
2.2.4. Eutrofización.....	25
2.2.5. Enfermedades Más Comunes En El Salmón Cultivado.....	27
2.2.6. Efectos Productivos Y Sociales De Las Enfermedades En Salmónidos.....	28
2.3. Impactos Regulatorios.....	29
2.3.1. Chile.....	30
2.3.2. Estados Unidos.....	30
2.3.3. Noruega.....	31
2.3.4. Canadá.....	31
<b>3. Revisión Normativa .....</b>	<b>33</b>

3.1.	Antecedentes Regulatorios del Salmón.....	33
3.1.1.	Período 1989 a 2001 .....	33
3.1.2.	Periodo 2002 a 2007 .....	33
3.1.3.	Periodo 2008 a 2010 .....	34
3.1.4.	Periodo de 2010 a 2014.....	35
3.1.5.	Periodo De 2014 A La Actualidad.....	36
3.2.	Aspectos Generales Regulatorios Sobre la Determinación de la Densidad de Siembra.....	36
3.2.1.	Determinación De La Densidad De Cultivo .....	36
<b>4.</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>45</b>
4.1	Modelo de Utilidad Aleatoria.....	45
4.1.1	Especificación del Modelo Econométrico .....	46
4.2	Especificación del Método .....	50
4.3	Datos.....	52
4.3.1	Cosechas de Salmón de Cultivo.....	53
4.3.2	Siembra de Salmón de Cultivo .....	53
4.3.3	Clasificación Sanitaria y Ambiental de los Centros de Cultivo de Salmón.....	53
4.3.4	Empresas Cultivadoras de Salmón.....	54
<b>5.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>55</b>
5.1	Estadística Descriptiva de los Centros de Cultivo de Salmón en el Mar. ....	55
5.2	Estimación de los Determinantes en la Decisión de Acogerse al PRS .....	58
5.3	Importancia de los Determinantes en la Decisión de Acogerse al PRS .....	60
<b>6.</b>	<b>Discusión.....</b>	<b>62</b>
	<b>Conclusiones .....</b>	<b>69</b>

**Referencias.....71**  
**Apéndices .....87**

## Lista de Tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> <i>Principales Características de la Siembra por Densidad y PRS</i> .....	15
Tabla 2. <i>Porcentaje de Mortalidad Infecciosa en Salmónidos en Chile</i> .....	28
Tabla 3. <i>Principales Causas de Mortalidad Infecciosa en Salmónidos en Chile</i> .....	28
Tabla 4. <i>Porcentaje de Reducción de la Siembra para el Ciclo Productivo Siguiete</i> ....	39
Tabla 5. <i>Puntaje y Ponderación de Acuerdo con la Última INFA</i> .....	40
Tabla 6. <i>Puntaje y Ponderación Sobre la Clasificación de las Agrupaciones de Concesiones</i> .....	40
Tabla 7. <i>Determinación de la Densidad de Cultivo Según Nivel de Bioseguridad Obtenido</i> .....	41
Tabla 8 <i>Determinación de la Densidad Para Centros de Cultivo con Clasificación en Bioseguridad Alta.</i> .....	42
Tabla 9. <i>Estimación del PRS</i> .....	43
Tabla 10. <i>Definición de Variables Explicativas</i> .....	51
Tabla 11. <i>Resumen de Estadística Descriptiva</i> .....	55
Tabla 12. <i>Estimación del Modelo Logit</i> .....	59
Tabla 13. <i>Estimación de los Efectos Marginales del Modelo Logit</i> .....	61

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. <i>Cosechas de Salmón por Especie, 2008-2021</i> .....	22
Figura 2. <i>Resumen Gráfico para Fijar la Densidad de Cultivo de Salmon</i> .....	37
Figura 3. <i>Porcentaje de Acogida a la Regulación de Densidades por PRS, 2016-2019 (kg)</i> .....	56
Figura 4. <i>Promedio de Densidad Final Autorizado</i> .....	57
Figura 5. <i>Porcentaje de Acogida a PRS por Región</i> .....	58

**Lista de Apéndices**

	<b>Pág.</b>
Apéndice 1. <i>Resultado del test de Hausman</i> .....	87
Apéndice 2. <i>Resultado del test de Multicolinealidad</i> .....	88

## 1. Introducción

### 1.1 Introducción

Chile es un país con múltiples recursos, los cuales representan diferente participación en las cuentas nacionales. Un recurso altamente importante para el país es su costa de 4.300 kilómetros con 200 millas náuticas de zona económica exclusiva, de modo que, sumado a sus ecosistemas de gran productividad, evidentemente le otorga ventajas, casi únicas en el mundo, como productor de recursos pesqueros altamente valorados y demandados en el mercado mundial (Ministerio de Defensa Nacional de Chile, 2017).

Así mismo, la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2018), menciona que Chile es el principal productor acuícola en América, con una participación del 1,3 % de la producción mundial. Cabe señalar que en Chile, los bajos costos laborales, la producción de harina de pescado y el fuerte apoyo gubernamental han favorecido el desarrollo de la salmonicultura (Chávez et al., 2019).

En Chile, la salmonicultura representa el 6 % del total de las exportaciones del Producto Interno Bruto (PIB), siendo el segundo sector más importante de la economía nacional (Rodríguez & Martínez, 2019). Aunque durante los años 90 este sector se desarrolló principalmente en la región de Lagos (Barton, 1997), hoy en día se ha expandido a la región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo (región de Aysén en lo sucesivo) y región de Magallanes y de la Antártica Chilena (región de Aysén en lo sucesivo) (Estay & Chávez, 2015). Según Dresdner et al. (2016) la industria del salmón proporciona 30.000 empleos directos y 14.500 indirectos. Dentro de los empleos indirectos se incluye a las microempresas que prestan servicios tales como fábrica de jaulas, productos farmacéuticos y alimento para salmones.

Estay y Chávez, (2015) indican que en Chile la acuicultura se divide en dos áreas principales de producción: salmonicultura (salmón del Atlántico [*Salmo salar*], salmón Coho [*Oncorhynchus kisutch*] y trucha [*Oncorhynchus mykiss*]) y mitilicultura. Además, describen la salmonicultura como una:

Actividad, organizada por el hombre, destinada a la producción de salmónes. La producción se realiza a través de centros de cultivo que intentan reproducir, al menos parcialmente, las condiciones y desarrollo de salmón silvestre, maximizando de paso los niveles de sobrevivencia, reduciendo los periodos de crecimiento, realizando manejo genético, etc. En los centros de cultivo se intenta controlar el ciclo de vida de los peces y se maneja su alimentación y condiciones de salud. (Estay & Chávez, 2015, p. 701)

Los primeros cultivos de salmón en Chile se iniciaron hace más de cien años (Bustos, 2012). Los primeros registros datan del año 1905, cuando el naturalista alemán Federico Albert Taupp ingresa al país las primeras ovas de trucha en la región de Valparaíso. Luego, ya durante 1914, y después de varios intentos, la producción de truchas en Chile, se comenzaron a dar sus primeros frutos con la exportación de ovas de trucha a Perú, Argentina, Colombia, Bolivia e Islas Malvinas. En 1921 se importaron las primeras ovas de salmón Coho a Chile desde Estados Unidos con colaboración del Instituto de Fomento Pesquero de Chile (IFOP), principalmente con fines de repoblamiento de varios ríos de la zona sur. Debido al éxito y a condiciones fisicoquímicas ideales para el cultivo de salmónidos se continuó con la importación de ovas (Vera, 2010).

Durante los años siguientes se realizaron varios avances productivos, en cultivos de salmónes y truchas, pero no fue sino hasta 1973 donde se dieron los primeros pasos para el desarrollo industrial salmonero (Vera, 2010; Chávez et al., 2019). Para ese año, se realizan las

primeras exportaciones de trucha y salmón a Francia. Sin embargo, su sistema productivo consistía en liberar los peces como smolt y esperar que regresaran un año después (Vera, 2010).

Para el año de 1985 las exportaciones de salmón alcanzaban 1.200 toneladas. En 1987 se introduce el salmón de Atlántico y pasados dos años, los ingresos por exportaciones ya rondaban los USD \$38 millones. Todo lo anterior permitió superar a Escocia como el segundo mayor productor de salmónidos en ese momento (Asche, Hansen, et al., 2009). Desde entonces la industria comienza una etapa de crecimiento promedio anual del 43,6 % alcanzando 206.254 toneladas en el año 2000 y haciendo del país el segundo productor mundial después de Noruega (Román et al., 2015). Para 2007, los retornos por salmón alcanzaron los USD \$2.241,7 millones y 397.041 toneladas netas en volumen exportado, donde la mano de obra ocupada fue aproximadamente 45.000 personas en las regiones de Los Lagos y Aysén (Verabahamonde, 2000).

Según Montero, (2004) la actividad salmonera presenta “todos los enlaces estratégicos de la cadena de valor, esto es, en menos de diez años se desarrollaron localmente todas las fases del proceso productivo y las actividades complementarias, tanto para atrás como hacia delante” (p. 8). Es una industria que, desde su inicio, se desarrolló fuertemente de un conjunto de iniciativas del gobierno y de los empresarios, por lo cual es notable el impacto social y económico de la salmonicultura en el entorno (Barton, 1997). La actividad salmonera cambió el perfil productivo de la región de Los Lagos, creando un mercado de trabajo prácticamente inexistente y generando nuevas fuentes de trabajo (Ríos, 2003). Es más, evidencia que la pobreza disminuyó en los lugares donde se instalaron los centros de cultivo del salmón (Ceballos et al., 2018) y, además, la desigualdad en los ingresos disminuyó en comparación con lugares costeros donde no se han instalado esta industria (Cárdenas-Retamal et al., 2021)

Sin embargo, la aparición del virus de la anemia infecciosa del salmón (ISAv) en 2007 ocasionó una crisis sanitaria, lo que motivó una serie de regulaciones que tenían como primer objetivo contener de forma rápida la diseminación del virus, y como segundo objetivo dar un marco regulatorio más acorde a las exigencias de una industria con rápida expansión y que se había sustentado en la autorregulación con densidades por sobre los 31 kg/m<sup>3</sup> (SUBPESCA, 2012; Iizuka & Zanlungo, 2016; Chávez et al., 2019). Algunas de estas exigencias se enfocaron al control sanitario y ambiental de los centros de cultivo de salmón, lo cual se tradujo en una serie de medidas, incluyendo la prohibición para importar ovas, ordenamiento de las concesiones de cultivos y fijación de la densidad de cultivo (Dresdner & Estay, 2016; Iizuka & Zanlungo, 2016). Además de la regulación territorial, se efectuaron cambios en la Ley de Pesca y Acuicultura y sucesivos procesos de certificación de buenas prácticas acuícolas internacionales (Cid Aguayo et al., 2017).

A pesar de los esfuerzos de la industria salmonera, aún se percibe que las regulaciones chilenas son débiles (Luthman et al., 2019; Quiñones et al., 2019). En consecuencia, año tras año se dictan nuevas normas o se enmiendan las existentes con el fin de regular las actividades salmoneras a través de resoluciones de entidades estatales como la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA) e incluso el propio Congreso de la República que, entre otras cosas, fijan las máximas densidades para que puedan operar los centros de cultivo en el mar.

Actualmente, existen dos opciones de siembra para los centros de cultivo en el mar. La siembra por densidad y el Porcentaje de Reducción de Siembra (PRS). Cada uno utiliza criterios ambientales, sanitarios y productivos para determinar el número máximo de smolt a ingresar a los centros de cultivo en el mar de acuerdo con la densidad permitida. En la Tabla 1 se muestra las principales características de los dos sistemas.

**Tabla 1.***Principales Características de la Siembra por Densidad y PRS*

<b>Siembra por densidad</b>	<b>PRS</b>
La densidad de cultivo se fija con respecto a ACS por medio de la clasificación ambiental, sanitaria y productiva.	La densidad de cultivo se fija por titular <sup>1</sup> .
El número máximo para sembrar puede ser influido por el comportamiento sanitario de otros titulares.	El número máximo de siembra depende del comportamiento sanitario, productivo y de consumo de antibióticos <sup>2</sup> por titular.
El número de peces no se distribuye entre otras ACS.	El número de peces a sembrar se puede distribuir entre sus concesiones de la región de Los Lagos y Aysén con excepción de Magallanes.
Si a nivel individual se tiene una clasificación de bioseguridad alta (pérdidas inferiores al 5 %) no se aplica la densidad por ACS.	La densidad de cultivo se calcula en 17 kg/m <sup>3</sup> para salmón del Atlántico y 12 kg/m <sup>3</sup> para trucha y Coho.

En el caso de siembra por densidad, establecido por la SUBPESCA, se indica el número de peces a sembrar por Agrupación de Concesión de Salmónidos (ACS), o comúnmente denominados Barrios; teniendo en cuenta los indicadores sanitarios, ambientales y productivos (Luthman et al., 2019) que forman parte de la clasificación de bioseguridad evaluada. De acuerdo con este sistema, las densidades para el salmón del Atlántico pueden llegar a los 17 kg/m<sup>3</sup> cuando la bioseguridad es alta y los 4 kg/m<sup>3</sup> cuando es baja. En el caso de la trucha y el Coho, las densidades con clasificación alta son de 12 kg/m<sup>3</sup> y 3 kg/m<sup>3</sup> cuando es baja. Cuando se opta a una siembra por densidad, el titular debe tener en cuenta los comportamientos sanitarios

<sup>1</sup> Titular o titulares: Hace referencia al grupo empresarial que controla la concesión en una ACS determinada

<sup>2</sup> A partir del 31 de marzo de 2020 se estableció el indicador de consumo de antibiótico (ICA). Pero este estudio contempla datos hasta el 2019, por lo que no se tuvo en cuenta.

de los demás titulares que operan en la misma ACS, salvo en algunas excepciones como pérdidas inferiores al 5 % y concesiones nuevas donde su densidad podría ser la máxima<sup>3</sup>.

La segunda opción es el Porcentaje de Reducción de Siembra (PRS), en el que titular puede optar por una densidad máxima permitida, sometiéndose a una reducción de un porcentaje de siembra determinado por la SUBPESCA (Decreto N.º 319, 2002). Los titulares de concesiones que seleccionan el PRS, son evaluados exclusivamente por su conducta sanitaria y productiva, sin tener en cuenta la de los otros. Pueden también distribuir su siembra en otras concesiones, respetando los límites de la RCA (Resolución de Calificación Ambiental) y llevando el cultivo a densidades máximas, de 17 kg/m<sup>3</sup> para salmón del Atlántico y 12 kg/m<sup>3</sup> para trucha y Coho. No obstante, al ampararse en el PRS se reduce el número de smolt a sembrar en comparación con el abastecimiento previo, lo cual se expresa en términos porcentuales de acuerdo con el nivel de pérdidas y la frecuencia de tratamiento para el control de la Caligidosis. En este contexto, el tomador de decisiones enfrenta la difícil elección de mantener un número de smolt a sembrar, pero a una baja densidad debido a las condiciones de bioseguridad, o reducir el número de peces a ingresar a cambio de sembrar a máxima densidad. En ese mismo sentido, el tema de estudio es relevante para el hacedor de políticas públicas, pues al conocer las variables de mayor importancia, que influyen en la decisión de acogerse a alguno de los sistemas de densidad, expondría la situación a la que se enfrentan los salmoneros y cómo intentan mantener su producción pese a las regulaciones.

De la misma manera, el titular, buscando la mayor utilidad, podrían sacrificar algo a cambio de optar por un mayor beneficio, al adoptar una siembra por PRS, se requerirá

---

<sup>3</sup> Para más información revisar: Decreto Exento No 319. Diario oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 30 de enero de 2002. <http://bcn.cl/2lz7u>

probablemente una menor cantidad de recursos operativos, logísticos e infraestructurales en los centros de cultivo, como por ejemplo una menor cantidad de jaulas y redes. Por otra parte, el acogerse a una siembra por densidad, podría tener resultados en la clasificación “bajas”, es decir, que el salmonero tendría que utilizar una mayor cantidad de recursos operativos (ej.: mayor número de jaulas) para sembrar el mismo número de peces.

Particularmente, la normativa relacionada con la densidad de cultivo, la cual dicta los tope máximos de densidad de peces que presentan los cultivos para cada año, se instaure por parte del Estado para establecer límites para las capacidades y generar crecimientos más acotados a cada empresa, es decir, se tiene un tope máximo permitido para la siembra de salmones en una jaula. El tope máximo se calcula teniendo en cuenta una clasificación de riesgo (bioseguridad) según los diferentes factores a considerar, a partir de lo estipulado en la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA) (Decreto N.º 319, 2002). De ahí que algunas empresas se han visto afectadas desde la implementación de la normativa en 2016, manifestando que afecta el crecimiento productivo de las empresas con menor capacidad financiera, imponiendo restricciones a su crecimiento en términos de biomasa y poniendo en peligro la estabilidad laboral (Elgueta, 2018). De igual manera, otras empresas han manifestado mediante recursos de reposición judicial los efectos negativos que traen este tipo de regulaciones. En ese contexto, las empresas que están de acuerdo con las regulaciones adoptadas respaldan el proceso de evaluar el comportamiento sanitario, ambiental y productivo del periodo anterior en el mar, ya que, se minimizan los riesgos ambientales y de sobre explotación (Alegría, 2018).

De acuerdo con lo anterior, este estudio analiza los factores que inciden en la decisión de una empresa para acogerse o no al PRS y se realizan tres contribuciones a la literatura. Primero, se identifican los factores que inciden estadísticamente en la decisión de acogerse al

PRS lo cual es, hasta ahora, inédito en la literatura. Segundo, al identificar los factores, se logra determinar la importancia relativa que posee cada uno de ellos en la decisión de acogerse a PRS. Tercero, se propone modificar la metodología de cálculo para la estimación de la bioseguridad, en donde el tomador de decisiones y el hacedor de políticas públicas consideren explícitamente la carga del ecosistema al momento de determinar la densidad.

Esta investigación se divide en tres etapas. En la primera se hace una revisión general de la industria del salmón vista desde un nivel productivo, identificando las principales externalidades, enfermedades más comunes que se encuentran en la industria chilena y de los impactos socioeconómicos ocasionados producto de las mismas patologías. De esta revisión se extrae la pregunta de investigación junto con los objetivos e hipótesis del estudio. En la siguiente etapa se revisa el estado regulatorio actual de las densidades de cultivo de salmón y se hace una recopilación de los antecedentes regulatorios y los cambios sufridos desde su implementación a la fecha. Finalmente, la última etapa se describe la metodología a usar para cumplir con los objetivos propuestos en esta investigación, concluyendo con los resultados.

## **1.2 Objetivos**

### ***1.2.1 Objetivo General***

Determinar los factores que inciden en la decisión de las empresas salmoniculoras para acogerse o no a un Porcentaje de Reducción de Siembra en las regiones de Los Lagos y Aysén.

### ***1.2.2 Objetivos Específicos***

Identificar los principales determinantes en la elección del Porcentaje de Reducción de Siembra en el sector salmonero en el sur de Chile durante el periodo 2017-2019.

Analizar la significancia e importancia de los determinantes en la elección del Porcentaje de Reducción de Siembra en el sector salmonero en el sur de Chile durante el periodo 2017-2019.

### 1.3 Hipótesis

Se examinarán las siguientes hipótesis

**H1:** Acogerse a un PRS está determinado por el comportamiento sanitario y ambiental de las empresas salmoniculoras en las regiones del sur de Chile.

**H2:** El tamaño del holding al cual pertenece la empresa salmoniculora está negativamente asociado con la decisión de la empresa de acogerse a un PRS.

La primera hipótesis se centra en la decisión de la empresa salmoniculora de sembrar en los centros de cultivo en el mar, ya que la empresa proyecta, según su capacidad productiva, toda su producción posible, lo cual contempla desde ova ojo hasta la cosecha en el mar. No obstante, el proceso se ve obstaculizado cuando las empresas tienen que decidir qué sistema regulatorio adoptar, teniendo en cuenta sus condiciones de bioseguridad y capacidades productivas, lo que les plantea la duda de si mantener el número de ingresos de peces proyectados pero a bajas densidades finales, o bien, reducir el número pero con densidades máximas finales.

Por otro lado, la segunda hipótesis se centra en que en la industria salmonera existen empresas con mayor capacidad no solo financiera, sino con mayores concesiones, lo que en términos prácticos supondría ventajas productivas, como el traslado de sus siembras, cuando el resultado de bioseguridad no es favorable a sus intereses. En este sentido, se cree conveniente poder determinar la probabilidad de acogerse o no al PRS en función del número de centros por Holding.

## 2. Revisión Bibliográfica

### 2.1. Revisión General de la Industria Salmonera

La industria salmonera se extiende principalmente por el sur de Chile, en las regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes, siendo Los Lagos el lugar en el que se concentran la mayoría de las actividades salmoneras en mar, específicamente de salmón del Atlántico (Dresdner et al., 2016; Happold et al., 2020). Las operaciones salmoneras se realizan aprovechando recursos hídricos como ríos, lagos y fiordos de las regiones (Pietrobelli & Rbellotti, 2010).

El ciclo se divide en tres etapas, la primera de las cuales es la producción en agua dulce, donde se realiza la etapa de reproducción (obtención de gametos a partir de reproductores) hasta smolt, cuando el pez alcanza un tamaño entre los 100 y 150 gramos. La segunda etapa comprende el ciclo que va comprende desde la recepción del smolt en el mar hasta la cosecha, la que dependiendo de la especie puede ser entre 4,5 kilogramos para salmón del Atlántico y 2,9 kilogramos para salmón Coho y trucha arcoíris (Resolución Exenta N° 2713, 2013). La tercera etapa corresponde a la fase de procesamiento en planta (Dresdner et al., 2016).

La producción en agua dulce se realiza principalmente en instalaciones cercanas a ríos y lagos a través de sistemas continuos o sistemas de recirculación (RAS) y consiste en la cría de reproductores a los cuales, luego de varios procesos de selección, se les extraen los gametos para ser fertilizados. Esta actividad puede durar de uno a dos meses dependiendo de la temperatura a la que se sometan los peces. Durante el año 2019, la producción de ovas alcanzó los 610,1 millones, de las cuales el 54,04 %, 27 % y 18,21 % correspondieron a salmón del Atlántico, Coho y trucha arcoíris, respectivamente (C. Balbontín López, comunicación personal, 12 de octubre, 2020). En el mismo año, el 53 % de la producción de smolt se realizó en piscicultura, el 23 % en sistemas de

recirculación (RAS), el 14 % en jaulas flotantes en lagos, el 6 % en estuarios y el 4 % en ríos (Quiñones et al., 2019).

Los alevines atraviesan varias etapas productivas que culminan cuando se transforman en smolt (Montero, 2004). En 2014 los volúmenes de abastecimiento fueron de 21.066 toneladas, 14.162 toneladas y 10.972 toneladas para salmón del Atlántico, Coho y trucha, respectivamente (Dresdner et al., 2016). Esta etapa se caracteriza por ser una de las más delicadas dados los complejos cambios morfológicos, bioquímicos, fisiológicos y de comportamiento que les permiten sobrevivir en un ambiente marino (Björnsson et al., 2011; Johansson et al., 2016).

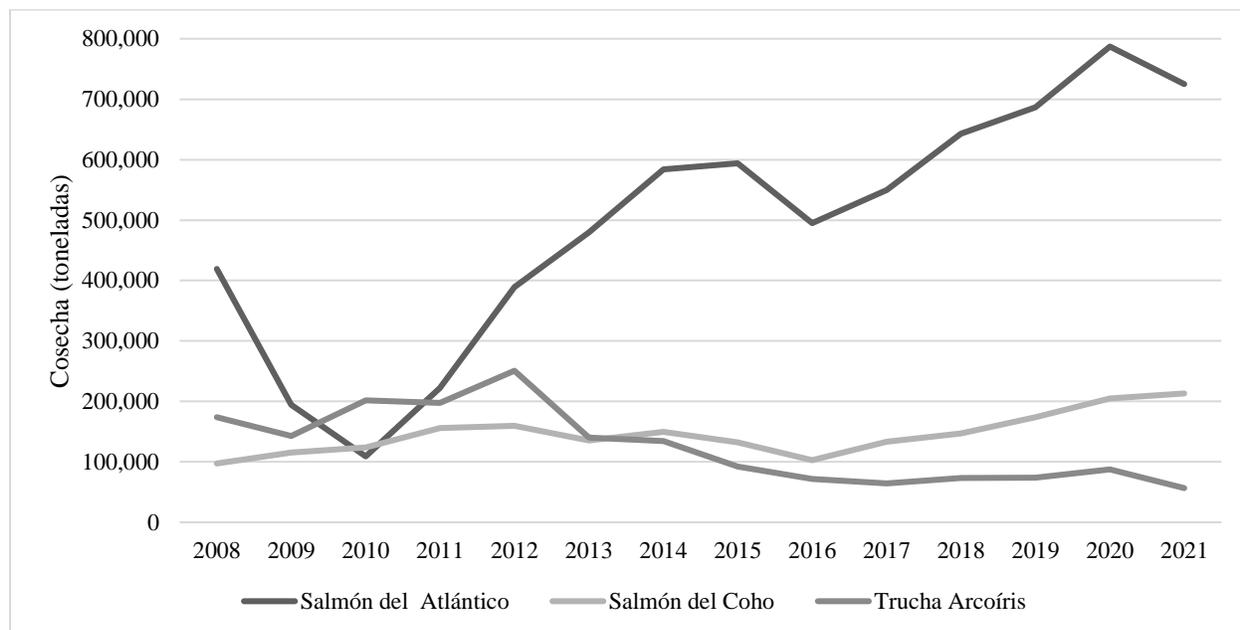
La cría en el mar se realiza en instalaciones modernas como jaulas y pontones, provistos de sistemas automatizados para la alimentación y vigilancia de los peces (Ibieta et al., 2011), y el ciclo de engorde puede durar cerca de 15 meses, según la especie (Iizuka & Katz, 2017). Los cultivos se concentran principalmente en la región de Los Lagos, Aysén y Magallanes. En 2019, SUBPESCA reporta 160 centros de cultivos para Los Lagos, 176 para Aysén y 50 centros para Magallanes (C. Balbontín López, comunicación personal, 23 de noviembre, 2020). A pesar del reducido número de establecimientos en la región de Magallanes, Estay y Chávez (2015) analizan que, como consecuencia de los cambios regulatorios tras la crisis del ISAv, los centros tienden cada vez más a establecerse en la Patagonia Antártica.

En Chile, las especies de mayor producción salmonera son: el salmón de Atlántico, el salmón Coho y la trucha arcoíris, las cuales representan el 73,5 %, 18,6 %, 6 % y 7,9 % del total de cosechas en 2019, respectivamente (C. Balbontín López, comunicación personal, 29 de septiembre de 2020). Después del 2010 comienza una recuperación en la cosecha del salmón del Atlántico, llegando en 2020 a una cifra cercana a las 787 mil toneladas. La cosecha del salmón Coho mantiene una tendencia relativamente creciente en el período analizado, con un leve crecimiento desde 2017

y en el caso de la trucha cae después de 2012 y permanece constante en torno a las 70 mil toneladas, ver Figura 1 (SERNAPESCA, 2022).

### Figura 1.

*Cosechas de Salmón por Especie, 2008-2021.*



*Nota.* Adaptado con base en información de SERNAPESCA (2022). El eje de las ordenadas representa la evolución de las cosechas en toneladas de salmón del Atlántico, salmón Coho y trucha arcoíris y en el eje de la abscisa los años.

Al final del ciclo en el mar, cuando se alcanza el peso adecuado, los peces son transportados a plantas de proceso donde se pesan, evisceran y preparan para el consumo en diversos formatos (Pietrobelli & Rabellotti, 2010; Bjelland et al., 2015). En Chile, el 90 % de las plantas de proceso operan principalmente en la región de Los Lagos, las restantes se distribuyen desde las regiones del Biobío, Aysén y Magallanes.

Asimismo, el salmón congelado es el principal producto de elaboración, representando el 59.3 % de total, y en los productos frescos o refrigerados el 39.4 % (Banco Central de Chile, 2019). Cabe resaltar que en todas las etapas del proceso, la industria del salmón tiene un impacto económico y social en las comunidades donde se desarrolla (Montero, 2004).

## **2.2. Externalidades**

La industria salmonera tiene una interacción muy estrecha con el medio ambiente, de modo que una de las preocupaciones que surge son las externalidades negativas que la actividad genera (Asche, Roll, et al., 2009). En Chile, algunas externalidades que se han puesto en evidencia son, el uso antimicrobianos, anestésicos, antiparasitarios, desinfectantes y los impactos provocados por fugas de peces, carga de nutrientes y problemas sociales hacen que los impactos generados cobren cada vez mayor relevancia (Burridge et al., 2010).

A la fecha, estos problemas que afecta la imagen de la industria y la percepción de la comunidad nacional e internacional no han sido corregidos por completo, lo que constituye en un pendiente de la industria salmonera. A continuación, se presentan algunos de los más importantes.

### **2.2.1. *Uso de Antimicrobianos***

De acuerdo con Avendaño (2021) el uso de antimicrobianos utilizados en la salmonicultura se encuentra documentado y estandarizado por protocolos fiscalizados por SERNAPESCA. Así mismo, en el reporte publicado de SERNAPESCA (2020) muestra una reducción del 44 % desde 2015 en el uso de antimicrobianos.

Sin embargo, al comparar el mismo año, Chile utiliza 550 veces más gramos de antimicrobiano por tonelada de salmón producido que Noruega (OCEANA, 2020). Finalmente, cabe aclarar que un mayor uso de antimicrobianos aumenta el riesgo de pérdida de la

susceptibilidad de los patógenos y la propagación de diferentes bacterias, lo que podría ser un problema a futuro (Bruce et al., 2021).

### **2.2.2. Escapes de Salmónidos**

Los escapes involuntarios han ocurrido desde los inicios de la industria y la mayoría han sido provocados por tormentas, animales externos (e.g., lobos) o por el mismo desgaste de las infraestructuras. En Noruega los escapes desde piscicultura en 2016 fueron de 200.000 salmones y se reporta que el número puede ser de dos a cuatro veces mayor que lo informado (Taranger et al., 2015; Olaussen, 2018). Además, se tiene serias preocupaciones por los efectos que podría causar la contaminación genética ocasionada por las fugas (Aasetre & Vik, 2013).

De acuerdo con los informes de Chile, el promedio de peces que se escaparon para salmón del Atlántico, salmón Coho y trucha arcoíris fue de 251.933, 118.860 y 359.324 respectivamente durante el periodo de 2004 a 2012 (Sepúlveda et al., 2013); asimismo, otros autores señalan que el número de escapes fue de 3.818.096 peces durante el 2010 a 2020, siendo los eventos extremos, como los vientos, la principal causa de esto (Silva & Soto, 2022).

Como resultado, estas fugas representan un riesgo para las especies nativas, ya que pueden convertirse en transmisores directos de parásitos y enfermedades, además de competir por el alimento disponible e imponer una presión depredadora sobre los peces silvestres (Sepúlveda et al., 2013; Taranger et al., 2015).

En la actualidad, no se dispone de una cantidad suficiente de información sobre escapes de salmónidos, por lo que es difícil evaluar los posibles impactos asociados. No obstante, se han realizado esfuerzos para evaluar el riesgo ambiental que suponen los escapes de salmónidos en la Patagonia chilena. Los resultados muestran que el salmón del Atlántico presenta unos riesgos ambientales más bajos debido a su menor supervivencia estimada, a su menor capacidad para

alimentarse cuando escapa de un sistema de cultivo y a su menor capacidad reproductiva en comparación con la trucha y el Coho (Soto et al., 2022).

El documento *Environmental risk assessment of non-native salmonid escapes from net pens in the Chilean Patagonia*, expone los riesgos asociados a los escapes e ítems relevantes que podrían ser utilidad para la disminución de los posibles impactos de los escapes de salmónidos. Algunos factores relevantes son la presencia de la pesca artesanal en los sitios de cultivo de salmón y la presencia de depredadores como los lobos marinos, que serían importantes a tener en cuenta al momento de la instalación de un centro de cultivo como posibles atenuadores del impacto en caso de fuga.

### **2.2.3. Conflictos Sociales**

La industria salmonera ha representado una contribución en términos de empleo y desarrollo social. No obstante, no está libre de los conflictos sociales que podrían surgir de la competencia por el uso del espacio acuático (Chávez et al., 2019). Como resultado, existe una percepción negativa por parte de algunos sectores económicamente importantes como el turismo y la agricultura, incluso por parte de movimientos sociales ambientalistas, hacia el desarrollo de la acuicultura en el sur de Chile (Vormedal, 2017; Outeiro et al., 2018). Además, una parte de la población se muestra reacia a los cambios socioeconómicos que se generan con la instalación de centros de cultivo cercanos a sus poblaciones.

### **2.2.4. Eutrofización**

La eutrofización es provocada por la descarga excesiva de nitratos y fosfatos en los ecosistemas acuáticos (Wang et al., 2020). En parte, estas cargas de nutrientes pueden tener diversas fuentes, tales como aguas servidas, actividades agrícolas o acuícolas, y pueden

favorecer la proliferación de fitoplancton, llegando a resultar perjudicial para los peces (Brown et al., 2020).

Se ha documentado que la salmonicultura podría ser responsable de una eutrofización en los cuerpos de agua donde se realizan sus cultivos, debido a una carga excesiva de nutrientes como consecuencia de los residuos de alimentos no consumidos, las heces y las excreciones de los peces.

Los principales impactos ambientales de esta actividad es la disminución del oxígeno disuelto en la columna de agua que puede afectar a la macrofauna que necesita oxígeno para sobrevivir. En efecto, el consumo microbiano del oxígeno del fondo genera sulfuro de hidrógeno tóxico en condiciones anaeróbicas (Quiñones et al., 2019).

En Chile, el monitoreo del medio ambiente es obligatorio, y cuando el sitio presenta condiciones anaeróbicas, no se le permite a la concesión cultivar peces hasta que presente condiciones aeróbicas. En 2010, 154 centros de cultivo de la región de Aysén generaron descargas de nitrógeno y fósforo por 12.300 y 1.600 toneladas, respectivamente, lo que probablemente esté asociado a cambios en la taxonomía bacteriana, alteración de la disponibilidad de oxígeno en los sedimentos, impactos en la biodiversidad y aumento en el dominio de especies oportunistas (Quiñones et al., 2019). Como se ha mencionado anteriormente, diversos estudios han demostrado que existe un efecto negativo sobre la riqueza de especies en las zonas situadas debajo de las jaulas de cultivo, mientras que existe un efecto contrario en las zonas aledañas a las mismas debido al aporte de nutrientes y protección frente a la pesca.

A pesar de ello, los efectos asociados al cultivo del salmón en zonas alejadas del centro de cultivo no están completamente claros, ya que la dilución y absorción de nutrientes por parte de

microorganismos dificultan su asociación. En la actualidad, se requiere un mayor esfuerzo de investigación sobre los posibles impactos de la industria y los métodos de mitigación para que sea más sostenible con el medio ambiente.

### **2.2.5. Enfermedades más Comunes en el Salmón Cultivado**

Según la FAO (2012), el constante crecimiento de la acuicultura se ha debido en parte al hecho de que el sector pesquero no puede satisfacer la creciente demanda de productos del mar. No obstante, este aumento en la acuicultura se ha visto mermado por la aparición de nuevas enfermedades o el agravamiento de las existentes. La aparición de los agentes causales de estas enfermedades aprovecha el aumento de susceptibilidad de los peces y disminución de sus mecanismos de inmunidad, causados principalmente por el estrés. Ello debido a que se someten a altas densidades, al exceso de manipulación física e infecciones por parásitos como el piojo de mar *Caligus rogercresseyi*, que pueden provocar inmunosupresión en los peces (Delghandi et al., 2020; Pontigo et al., 2021).

Como se indicó previamente, la industria salmonera chilena ha crecido rápidamente durante la última década, convirtiéndose en el segundo producto con mayor comercialización después del cobre en 2021 (Salmon Chile, 2022). Sin embargo, los problemas ocasionados principalmente por virus y bacterias patógenas conducen a graves pérdidas en la producción acuícola (Flores-Kossack et al., 2020).

De acuerdo los datos proporcionados por SERNAPESCA (2020), las principales enfermedades que causan mortalidad son el *piscirickettsiosis*, la enfermedad bacteriana del riñón o BKD (Bacterial Kidney Diseases) y la *tenacibaculosis* (Tabla 3). Así mismo, la mortalidad por causas infecciosas osciló entre un 20,1 % y un 22,9 % para el salmón del Atlántico, y en el caso

del salmón Coho y trucha arcoíris la mortalidad ha disminuido a un 16,2 % y 13,9 % en los últimos tres años respectivamente (Tabla 2).

**Tabla 2.**

*Porcentaje de Mortalidad Infecciosa en Salmónidos en Chile*

Mortalidad por causas infecciosas (%)	Salmón del Atlántico			Salmón del Coho			Trucha Arcoíris?		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
	21,6 %	20,1 %	22,9 %	21,0 %	10,4 %	16,2 %	23,7 %	18,9 %	13,9 %

*Nota.* Adaptado con base en información de Sernapesca (2020).

**Tabla 3.**

*Principales Causas de Mortalidad Infecciosa en Salmónidos en Chile.*

Causas	Salmón del Atlántico			Salmón del Coho			Trucha Arcoíris		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Amebiasis	1,40 %	0,30 %	8,90 %	1,60 %	1,70 %	0,60 %		1,20 %	0,50 %
BKD	7,20 %	18,50 %	18,60 %	2,70 %	16,70 %	7,20 %	1,50 %		23,2 %
Flavobacteriosis					1,80 %		1,70 %	1,20 %	5,00 %
Forunculosis	1,40 %	2,60 %	1,00 %						0,10 %
HSMI	7,80 %	4,00 %	5,30 %	4,10 %	11,10 %	13,40 %			1,50 %
Ictericia				64,9 %	48,40 %	45,90 %	1,50 %		
IPN	1,00 %	1,60 %	1,50 %	7,80 %			3,80 %		7,70 %
Micosis	3,10 %	3,50 %	3,70 %			0,90 %			0,50 %
Otros	6,40 %	8,70 %	0,40 %	1,00 %	1,70 %	0,20 %	4,10 %	3,10 %	2,00 %
Piscirickettsiosis	69,40 %	54,50 %	47,60 %	17,8 %	15,00 %	12,50 %	86,00 %	83,3 %	49,6 %
Tenacibaculosis		5,00 %	12,90 %		2,10 %	19,50 %		1,9 %	9,80 %
Vibriosis							1,70 %	8,8 %	
Yersiniosis		1,00 %							

*Nota.* Adaptado con base en información de SERNAPESCA (2020).

### 2.2.6. Efectos Productivos y Sociales de las Enfermedades en Salmónidos

Los principales efectos que puede causar una enfermedad son diversos, llegando incluso a afectar a la industria salmonera, como ocurrió con el ISAv, que apareció entre 2007 y 2010. Si bien es probable que la crisis sanitaria se originó en Chile a través de ovas de salmón importadas (Vike et al., 2009), existen otras hipótesis que denotan la presencia del virus en las aguas

nacionales antes de la década del 90, evolucionando hasta el 2007 (Cottet et al., 2010). No obstante, otros opinan que fue resultado de mala gestión sanitaria y ambiental (Iizuka & Zanlungo, 2016). Poco después de su aparición, el virus causó una reducción del 60 % de la producción máxima de 400.000 toneladas en 2007 (Kibenge et al., 2012). Como resultado, las empresas tuvieron que recurrir a la cosecha temprana de peces para intentar reducir las pérdidas, y las exportaciones se redirigieron a mercados como Brasil (Asche et al., 2018). Del mismo modo, se redujeron las exportaciones de 390.000 toneladas en 2008 a 120.000 toneladas en 2010 (Quezada & Dresdner, 2017).

La industria se caracterizaba por una gran demanda de empleos hasta 2007, año en el que se evidenció un descenso en el número de empleos directos e indirectos, probablemente provocado por la crisis. Aunque la tasa de empleo comenzó a recuperarse en 2012, estos niveles se mantienen bajos, posiblemente asociado a un cambio tecnológico. Como consecuencia de la crisis, muchas empresas estuvieron al borde de la quiebra y alrededor de 20 mil puestos de trabajo se perdieron en tan solo dos años (Iizuka & Katz, 2017).

Hoy, la industria enfrenta a otros retos como la intensiva infección por parásitos, piojo de mar. Las infecciones por este parásito son muy preocupantes para la industria y se estiman costos de 480 millones de dólares para la industria chilena (Gallardo-Escárate et al., 2019). Además, el contagio aumenta la vulnerabilidad de los peces a otras enfermedades bacterianas e incrementa el costo de producción en un USD \$1,4 por kilogramo (Dresdner et al., 2019).

### **2.3. Impactos Regulatorios**

El cultivo del salmón se caracteriza por ser una actividad productiva donde la incertidumbre y la volátil naturaleza de las condiciones biológicas y ambientales afectan de manera sistemática el resultado de la producción (Iizuka & Katz, 2017). Cuando una de estas variables

está fuera de control es necesario implementar medidas para comenzar con la recuperación de la actividad (Kibenge et al., 2012). La mayoría de los casos requiere la implementación o modificación de nuevas regulaciones para mitigar los impactos. Los principales países donde se realiza la salmonicultura han implementado nuevas normas para poder hacer frente a los eventos biológicos, ambientales y sociales.

### **2.3.1. Chile**

No existe mucha evidencia sobre los efectos que pueden causar las regulaciones a la acuicultura. Luego de la crisis del ISAv, Dresdner et al. (2016) estimaron el efecto de las regulaciones sobre el empleo directo e indirecto a través de modelos VAR (modelo de vectores autorregresivos), los resultados muestran que el empleo directo en los centros de cultivo se vio afectado en la región de Los Lagos, mientras que en las regiones de Aysén y Magallanes el efecto de las regulaciones fue negativo y positivo respectivamente. En otra investigación, Dresdner y Estay (2016), utilizando un modelo multiobjetivo con una función de beneficio y nivel de bioseguridad, muestran que las regulaciones ocasionan pérdidas de beneficios y limitan la producción a corto plazo.

Por otra parte, Little et al. (2015), utilizando como metodología las entrevistas con gerentes de distintas compañías de la industria salmonera, indica que la crisis desatada en 2007 por el virus ISA generó regulaciones como la sincronía productiva de las ACS, afectando gravemente por seis meses a empresas que poseen varios de sus centros de cultivo dentro de una misma concesión o barrio.

### **2.3.2. Estados Unidos**

De acuerdo con los estudios realizados por Van Senten y Engle (2017), el exceso de regulaciones en los Estados Unidos ha ocasionado pérdidas en la rentabilidad, reduciendo el

crecimiento de esta industria. Estudios anteriores confirman la mala percepción que tienen los estadounidenses acerca de la acuicultura dada las experiencias en otras regiones (Chu et al., 2010).

### **2.3.3. Noruega**

Noruega es actualmente el mayor productor de salmón a nivel mundial y posee condiciones ambientales ideales para el cultivo de salmónidos. Además, su normativa se caracteriza por ser rigurosa y prioriza el desarrollo económico de este sector (Sandersen & Kvalvik, 2014).

La normativa ambiental desde el año 2009 utiliza al piojo del salmón *Lepeophtheirus salmonis* como medida de impacto ambiental causado por la producción de salmón (Osmundsen et al., 2020). De acuerdo con Abolofia et al. (2017), utilizando un modelo de retardos distribuidos finitos, la infestación puede llegar a reducir hasta en un 16 % en la producción de biomasa en peces de cultivo y genera costos por USD \$0,46 por kilogramo de biomasa cosechada.

Sin embargo, Asche y Roll (2013), utilizando un modelo de producción estocástica para medir el grado de ineficiencia en la industria salmonera noruega, encontró que las enfermedades y los escapes de peces tienen un efecto en el corto plazo, mientras que los factores relacionados con las regulaciones tienen un efecto más largo. Por otro lado, Vormedal y Skjærseth (2020), a través de un modelo de encuestas focalizadas a varios gerentes de empresas salmoneras, obtuvo que las regulaciones más estrictas afectan negativamente a las firmas de menor capacidad financiera, ocasionando una mayor oposición a las nuevas normativas.

### **2.3.4. Canadá**

Columbia Británica es el mayor productor de salmón en Canadá, representando el 70 % de la producción del país y durante el 2019 alcanzó una producción de 123.184 toneladas (FAO, 2020). Sin embargo, existe preocupación por los posibles impactos sociales y económicos de la industria (McDaniels et al., 2005). Según las estimaciones de Mustafa et al. (2001), las pérdidas

en biomasa por la presencia del piojo del salmón *L. salmonis* estuvieron cercanas a los 200 gramos por pez. Otros autores estiman que la pérdida en biomasa en promedio varía de 3,62 % a 16,55 % (Abolofia et al., 2017). Actualmente, los productores canadienses están obligados a informar los recuentos de piojos del salmón a las autoridades (Silva & Soto, 2022). No obstante, Morton y Routledge (2016) examinan los efectos ambientales sobre las especies nativas y defienden la supresión de los cultivos de salmón en Canadá a causa del impacto local debido a la infestación de parásitos, enfermedades virales y cargas orgánicas sobre el ecosistema.

En Canadá, debido a que es un país federal, las empresas salmoneras están sujetas a diferentes regulaciones en función de la parte geográfica en la que operen. No obstante, la producción salmonera está regulada a nivel provincial, estableciendo una biomasa máxima permitida o un número fijo de smolt. De manera general, las concesiones tienen permiso para mantener 2.200 toneladas y algunas pueden alcanzar las 5.000 toneladas de biomasa (Silva & Soto, 2022).

### **3. Revisión Normativa**

#### **3.1. Antecedentes Regulatorios del Salmón**

Según el reglamento de medidas de protección, control y erradicación de enfermedades de alto riesgo para las especies hidrobiológicas, es un deber del Estado proteger el patrimonio sanitario del país, para lo cual deben adoptarse las medidas destinadas a los instrumentos de control que permitan el cumplimiento de dicho fin. La acuicultura, y en especial la salmonicultura, ha sido objeto de varias normativas que tienen por objeto regular esta actividad, desde el punto de vista económico, ambiental y sanitario. Precisamente, Fuentes (2014) menciona cuatro periodos relevantes:

##### ***3.1.1. Período 1989 a 2001***

Fue el periodo donde se modificó la Ley N° 19.079 (1991), conocida como LGPA. Entre sus principales lineamientos fue la distancia de 1,5 millas náuticas entre centros y la no autorización a operar a profundidades menores a 25 metros ni corrientes menores de 2,5 cm/segundos. También se obligó a los centros que operan en sistemas lacustres y fluviales a retener por lo menos el 85 % de los sólidos generados. Además de las medidas anteriores, cabe destacar que se contempló durante ese periodo la capacidad máxima de producción, aunque no se aplicó.

##### ***3.1.2. Período 2002 a 2007***

Durante el año de 2002 se implementa el Reglamento Ambiental para la Acuicultura (RAMA) y el Reglamento Sanitario de Acuicultura (RESA) donde se establecen las pautas para desarrollar una valoración ambiental (Decreto N.º 319, 2002) y sanitaria sujeta al tipo de cultivo (Decreto N.º 320). Tal como lo menciona Fuentes (2014), al RESA le faltaron elementos que manifestaran una guía de base donde el salmonero puede medir el comportamiento sanitario e

incorporar mayores restricciones para garantizar la no entrada de nuevas enfermedades. El mismo autor menciona que para la época el número de peces a sembrar por metros cúbicos ( $m^3$ ) era decisión de la compañía salmonera y de esta manera la autoridad del momento no tenía la autoridad de intervenir.

El RAMA (Decreto N.º 320, 2001), por su parte, reguló la distancia operativa entre los centros de salmón (2.778 metros) e incorporó metodologías para valorar un sitio previa entrega de la concesión, con esto se podía tener una imagen de la situación en la que hacía entrega al tercero. Además, de lo anterior, se obligaba a llevar un muestreo mensual de la cantidad de oxígeno presente en la columna de agua. Si la condición era anaeróbica y se repetía en un próximo muestreo, entonces se debía reducir el número de ejemplares a sembrar en un 30 %.

### **3.1.3. Periodo 2008 a 2010**

El 1 de julio de 2007 se confirma el brote de virus ISA, la cual condujo a adoptar medidas de emergencia tales como rutinas de muestreo para la detección temprana de enfermedades de alto riesgo de la Lista 2 (Resolución Exenta N.º1741, 2013).

Se establecieron zonas sanitarias con restricciones en los centros que probablemente sean infectados o bajo sospecha de virus ISA. De la misma manera, se establece la eliminación de peces o cosecha obligatoria de peces confirmados con brotes epidémicos.

Por otra parte, se regula la importación de ovas de salmón, dejando de importar desde países que presentan enfermedades de alto riesgo sanitario para el país (actualmente solo Islandia tiene el permiso para exportar ovas a Chile), también se instaure la destrucción de redes de cultivo y la incorporación de silos para el procesamiento de la mortalidad.

Con la Resolución Exenta N.º 1449 de 2009 de SERNAPESCA se organizó agrupaciones de concesiones para el ciclo de mar con un descanso de tres meses luego de terminada la cosecha.

Además, se estableció una densidad de cultivo máxima a la que podían llegar los centros de cultivo con el fin de evitar una propagación de enfermedades. Según Fuentes (2014) esta fue la primera vez que el Estado regulaba el número de peces que se debían sembrar.

Para el mismo año se establece en el RAMA (2001) llevar resultados positivos de los informes ambientales previos. De esta manera, los niveles de oxígeno en la zona de ubicación de centro de engorde condicionan el próximo periodo productivo de los resultados obtenidos.

#### ***3.1.4. Periodo de 2010 a 2014***

Para el año 2010 las regulaciones se endurecieron, contemplaban parar el acceso a nuevas concesiones, establecer la distancia de 2.778 metros entre centros y reservas marinas.

Para este periodo se estableció que la densidad de cultivo fuera designada por agrupación de concesiones. Esto es, un límite máximo de biomasa por metro cúbico ( $m^3$ ) en una jaula. Esta medida estaba enfocada a reducir el estrés y por ende reducir la probabilidad de desarrollo de enfermedades (Fuentes Olmos, 2014)

En consecuencia, la producción de uno o varios centros se ve afectada por el comportamiento sanitario colectivo (agrupación de concesiones o barrios), que a través de una clasificación de bioseguridad determinará su densidad de cultivo, lo que a su vez determinará el número de peces a sembrar.

En otras palabras, si la clasificación de bioseguridad es baja, se establecerá una reducción en el número de peces que pueden ser sembrados en todos los centros de cultivo. Solamente en el caso de obtener una clasificación alta y los demás baja, el centro podrá utilizar una densidad mayor de cultivo.

### **3.1.5. *Periodo de 2014 a la Actualidad***

En 2015 se evaluó emitir una nueva normativa como alternativa a las densidades de cultivo que operó desde el año 2010 en la industria del salmón. En 2016 entró en vigor el PRS como es conocido, donde se trata de reducir en un porcentaje el número de peces a ingresar a los centros de cultivo en el mar, según los indicadores de pérdida y al indicador sanitario. Bajo esta modalidad, el titular del centro podría llegar a densidades de cultivo de 17 kg/m<sup>3</sup> en el caso del salmón del Atlántico y 12 kg/m<sup>3</sup> para la trucha arcoíris y el salmón Coho y no regirse por la regulación aplicable a toda una ACS (Fuentes Olmos, 2014).

## **3.2. Aspectos Generales Regulatorios Sobre la Determinación de la Densidad de Siembra**

La regulación actual de la siembra de salmónidos en el mar se basa en el comportamiento ambiental, sanitario y productivo. Estos factores determinan el número de peces que pueden ingresar a un centro de cultivo.

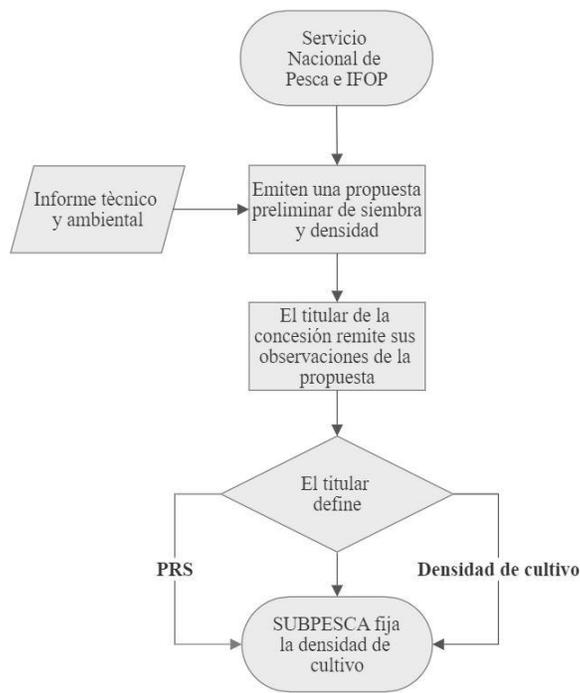
El objetivo es regular la biomasa de peces en la fase de engorde y reducir la posibilidad de nuevos brotes de enfermedades. Actualmente, existen dos alternativas para determinar el número máximo de peces a ingresar, la cual corresponde a la densidad de cultivo y el PRS.

### **3.2.1. *Determinación de la Densidad de Cultivo***

El artículo 86 bis de la LGPA establece que la SUBPESCA en conjunto con SERNAPESCA y al Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) emiten una propuesta a los titulares de las concesiones, que contempla la densidad máxima final de cosecha y el número de smolt a ingresar al centro de cultivo autorizado. Los titulares remiten las observaciones a la propuesta, si las hubiera y dentro del plazo de un mes, la subsecretaria por resolución oficializa la densidad de cultivo para cada agrupación de concesiones (Ley N.º 18892, 1989) (Figura 2).

**Figura 2.**

*Resumen Gráfico para Fijar la Densidad de Cultivo de Salmon*



**3.2.1.1 Siembra por Densidad.** Para optar por este sistema de siembra se reúnen previamente antecedentes ambientales, sanitarios y productivos de los centros de cultivo, que de acuerdo con el Decreto No 319 (2002) determinan la densidad de cultivo final aprobada en las ACS, involucrando a todos los titulares que tengan operación dentro de esta, salvo algunas excepciones. Estos elementos determinan la clasificación de la bioseguridad y comprenden lo siguiente:

Ambiental: Información Ambiental<sup>4</sup> (INFA) “de los centros de cultivo integrantes de la agrupación, cuyos resultados den cuenta de una condición aeróbica” (Resolución Exenta N.º 3612, 2009, p. 4).

Sanitario: pérdidas de la agrupación, entendiendo la diferencia, expresada en porcentaje, entre el número total de ejemplares ingresados al inicio del período productivo en los centros de cultivo integrantes de la agrupación (abastecimiento) y la suma de las cosechas efectivas y proyectadas en el mismo ciclo de cultivo<sup>5</sup> (Decreto N.º 319, 2002). Salvo las cosechas que hayan sido ordenadas obligatoriamente por SERNAPESCA o por la aplicación de programas sanitarios específicos como medida de emergencia. La ecuación (1) describe el porcentaje de pérdida.

$$\% \text{ pérdida} = \left( \frac{\text{abastecimiento} - (\text{cosechas efectivas} + \text{cosechas proyectadas})}{\text{abastecimiento}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Productivo: comparación entre la proyección de siembra de la agrupación para el período productivo siguiente y la siembra efectiva en el período productivo anterior. Para tales efectos, se considera como proyección de siembra, el número total de ejemplares a sembrar en el período productivo siguiente en los centros de cultivo integrantes de la agrupación (Decreto N.º 319, 2002).

---

<sup>4</sup> Los límites de aceptabilidad son: “Materia Orgánica ≤9%; pH ≥7,1; Eh (Redox) ≥ 50mV; Oxígeno disuelto (1 m fondo) ≥2,5 mg/L; Registro visual” (Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, 2020, p. 41).

<sup>5</sup> Esta proyección se realiza meses antes de que finalice el ciclo productivo.

Para estimar el nivel de la clasificación del de bioseguridad en ACS, primero se evalúa el porcentaje de reducción para el ciclo productivo en cuanto a concesión o de forma individual, de acuerdo con el porcentaje de pérdidas obtenidas en el ciclo anterior (Decreto N.º 319, 2002).

En la Tabla 4 se establece el porcentaje de reducción en el ciclo productivo siguiente.

**Tabla 4.**

*Porcentaje de Reducción de la Siembra para el Ciclo Productivo Siguiete*

<b>% Pérdidas Ciclo Productivo</b>	<b>Clasificación de Bioseguridad Score de Riesgo</b>	<b>Disminución de Siembra en el Ciclo Productivo Siguiete</b>
0 % - 10 %	Alta	Proyecto técnico o RCA <sup>6</sup>
Mayor 10 % a 14 %	Media – Alta	Reducción 10 %
Mayor 14 % a 20 %	Media	Reducción 20 %
Mayor 20 % a 25 %	Baja 1	Reducción 40 %
Mayor a 25 %	Baja 2	Reducción 60 %

*Nota.* Adaptado de Decreto Exento 319 (2002), artículo 59 y la Ley General de Pesca y Acuicultura N.º. 18.892 (1989).

Una vez determinado el porcentaje de reducción individual, la SUBPESCA fija los puntajes y ponderaciones para las ACS utilizando los resultados ambientales, sanitarios y productivos de las concesiones. En la Tabla 5 se presenta la información ambiental denominada INFA, calculada en función de la relación entre la suma de los centros en condición aeróbica y los centros que funcionan en la ACS (Decreto N.º 319, 2002). Además, se establece el puntaje y ponderación según los valores obtenidos de la última INFA.

---

<sup>6</sup> Resolución de Calificación Ambiental. Es el permiso ambiental otorgado una vez finalice el proceso de evaluación del Estudio de Impacto Ambiental (GRN, 2021).

También se consideran el elemento sanitario y el productivo de la ACS, que se calculan de la misma manera que los párrafos anteriores. Los puntajes y ponderaciones se presentan en la Tabla 6 que muestra el puntaje sobre el elemento sanitario y productivo.

**Tabla 5.**

*Puntaje y Ponderación de Acuerdo con la Última INFA*

<b>Elemento ambiental – INFA</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Valor</b>
75,1 %, 100 % de las concesiones que operaron con última INFA favorable	100	<b>10 %</b>
50,1 %, 75 % de las concesiones que operaron con última INFA favorable	75	
25,1 %, 50 % de las concesiones que operaron con última INFA favorable	50	
0 %, 25 % de las concesiones que operaron con última INFA favorable	25	

*Nota.* Adaptado de Decreto Exento 319 (2002), artículo 59 y la Ley General de Pesca y Acuicultura N°. 18.892 (1989).

**Tabla 6.**

*Puntaje y Ponderación Sobre la Clasificación de las Agrupaciones de Concesiones*

<b>Elemento sanitario – Pérdidas</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Valor</b>
0 % a 5 %	100	<b>55 %</b>
Mayor a 5 % a 15 %	75	
Mayor a 15 % a 17 %	50	
Mayor a 17 % a 20 %	25	
Mayor a 20 %	0	
<b>Elemento productivo— proyecciones de siembra</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Valor</b>
0 % a 60 % respecto abastecimiento periodo anterior	160	<b>35 %</b>
Mayor a 60 % a 80 % respecto abastecimiento periodo anterior	120	
Mayor a 80 % a 100 % respecto abastecimiento periodo anterior	100	
Mayor a 100 % a 103 % respecto abastecimiento periodo anterior	40	
Mayor a 103 % a 106 % respecto abastecimiento periodo anterior	—40	
Mayor a 106 % respecto abastecimiento periodo anterior	—100	

*Nota.* Adaptado de Decreto Exento 319 (2002), artículo 59 y la Ley General de Pesca y Acuicultura N°. 18.892 (1989).

Al asignar los puntajes, se establece, de acuerdo con la Tabla 7, el nivel de bioseguridad y la densidad de cultivo que se utilizará para determinar el número de peces a ingresar por centro de cultivo de acuerdo con la especie de salmón correspondiente.

**Tabla 7.**

*Determinación de la Densidad de Cultivo Según Nivel de Bioseguridad Obtenido*

<b>Puntaje Clasificación Bioseguridad</b>	<b>Nivel de Bioseguridad</b>	<b>Resultados Densidad</b>	<b>Densidad Jaulas ACS</b>
> 90	Alta	—	Salar 17 kg/m <sup>3</sup> Trucha 12 kg/m <sup>3</sup> Coho 12 kg/m <sup>3</sup>
> 80 – 90	Media	Baja 10 %	Salar 15 kg/m <sup>3</sup> Trucha 11 kg/m <sup>3</sup> Coho 11 kg/m <sup>3</sup>
> 70 – 80	Baja 1	Baja 20 %	Salar 13 kg/m <sup>3</sup> Trucha 10 kg/m <sup>3</sup> Coho 10 kg/m <sup>3</sup>
> 60 – 70	Baja 2	Baja 35 %	Salar 11 kg/m <sup>3</sup> Trucha 8 kg/m <sup>3</sup> Coho 8 kg/m <sup>3</sup>
> 50 – 60	Baja 3	Baja 50 %	Salar 8 kg/m <sup>3</sup> Trucha 6 kg/m <sup>3</sup> Coho 6 kg/m <sup>3</sup>
<50	Baja 4	Baja 75 %	Salar 4 kg/m <sup>3</sup> Trucha 3 kg/m <sup>3</sup> Coho 3 kg/m <sup>3</sup>

*Nota.* Adaptado de Decreto Exento 319 (2002), artículo 59 y la Ley General de Pesca y Acuicultura N°. 18.892 (1989).

La SUBPESCA determina por resolución el número máximo de ejemplares a ingresar en los centros de cultivo y en el caso de que el centro de cultivo haya obtenido una clasificación

individual de bioseguridad alta, correspondiente al tramo de pérdidas inferiores al 5 % (Decreto N.º 319, 2002), este podrá optar a las siguientes densidades que se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Determinación de la Densidad Para Centros de Cultivo con Clasificación en Bioseguridad Alta.*

Puntaje Score de Riesgo	Nivel de Bioseguridad	Resultados Densidad	Densidad Jaulas ACS	Bioseguridad Individual	Densidad Jaula Centro
>90	Alta	—	Salar 17 kg/m <sup>3</sup> Trucha 12 kg/m <sup>3</sup>	NA	NA
>80 - 90	Media	Baja 10 %	Coho 12 kg/m <sup>3</sup> Salar 15 kg/m <sup>3</sup> Trucha 11 kg/m <sup>3</sup>	Alta (pérdida <= 5 %)	Salar 17 kg/m <sup>3</sup> Trucha 12 kg/m <sup>3</sup>
>70 - 80	Baja 1	Baja 20 %	Coho 11 kg/m <sup>3</sup> Salar 13 kg/m <sup>3</sup> Trucha 10 kg/m <sup>3</sup>	Alta (pérdida <= 5 %)	Coho 12 kg/m <sup>3</sup> Salar 15 kg/m <sup>3</sup> Trucha 12 kg/m <sup>3</sup>
>60 - 70	Baja 2	Baja 35 %	Coho 10 kg/m <sup>3</sup> Salar 11 kg/m <sup>3</sup> Trucha 8 kg/m <sup>3</sup>	NA	NA
>50 - 60	Baja 3	Baja 50 %	Coho 8 kg/m <sup>3</sup> Salar 8 kg/m <sup>3</sup> Trucha 6 kg/m <sup>3</sup>	NA	NA
<50	Baja 4	Baja 75 %	Coho 6 kg/m <sup>3</sup> Salar 8 kg/m <sup>3</sup> Trucha 6 kg/m <sup>3</sup> Coho 6 kg/m <sup>3</sup>	NA	NA

*Nota.* Adaptado de Decreto Exento 319 (2002), artículo 59 y la Ley General de Pesca y Acuicultura N.º. 18.892 (1989).

**3.2.1.2. PRS.** En esta regulación, el titular de los centros de cultivo puede distribuir la siembra del siguiente periodo entre todas las ACS donde tenga operaciones de cultivo y que

implique a las regiones de Los Lagos y Aysén. Para el caso de la región de Magallanes, solo se puede distribuir dentro de los centros de cultivo en el mar que cuenten con operación en la misma región.

Este sistema de siembra tiene como objetivo, reducir el número de peces a ingresar, generando en los titulares crecimientos más acotados y la desconcentración de biomasa en las diferentes ACS, en la fase de engorde. Cabe precisar que el titular de la concesión puede crecer siempre y cuando haya operado por PRS durante dos o más ciclos productivos y cumpla con las condiciones de pérdida y PPJT (ver Tabla 9). Además, la empresa tiene la oportunidad de utilizar concesiones en otras ACS que operen en el mismo semestre y realizar los cálculos productivos a máxima densidad sin considerar el comportamiento de otros titulares. Para determinar el número de smolt a ingresar se consideran factores como el indicador sanitario, que contempla el promedio porcentual de jaulas con fármacos para el control de caligidosis (PPJT) y el consumo de antibióticos; no obstante, este último no se tiene en cuenta en este estudio dado que se estableció a partir del año 2020.

Para la evaluación del Porcentaje de Reducción de Siembra se tiene en cuenta el tramo de pérdidas de los centros de cultivo en el mar en el periodo inmediatamente anterior, además del resultado porcentual del número de jaulas tratadas para el control del *Caligus rogercresseyi*. En la Tabla 9, al cruzar los dos resultados se obtiene la reducción o aumento que se aplicará en próximo ciclo de cultivo, si el titular se encuentra dentro del rango 0 a 10 % y un indicador sanitario  $\leq 50$  %, el porcentaje de reducción será de -3 %. Este valor se restará al abastecimiento peces inmediatamente anteriores y será el número autorizado en el plan de siembra.

### **Tabla 9.**

*Estimación del PRS*

<b>Indicador Sanitario</b>	<b>Porcentaje de Pérdida</b>			
	<b>0 a 10 %</b>	<b>10,1 a 14 %</b>	<b>14,1 % a 20 %</b>	<b>0 a 10 %</b>
PPJT $\leq$ 50 % / periodo productivo	—3 %	—6 %	—12 %	+3 %
PPJT > 50 % / periodo productivo	—6 %	—12 %	NA	NA

*Nota.* Adaptado de Decreto Exento 319 (2002), artículo 59 y la Ley General de Pesca y Acuicultura N°. 18.892 (1989).

## 4. Metodología

Los modelos de elección discreta comúnmente utilizados en economía están basados de acuerdo con la teoría de la utilidad aleatoria descrita por McFadden (2000). Estos modelos explican el proceso de elección de los individuos cuando se tiene un conjunto de alternativas disponibles. Se considera que los individuos eligen dentro de un conjunto de alternativas, la que maximizará su utilidad con base en sus preferencias, restricciones ambientales, legales y de presupuesto.

Por otra parte, dado que se tienen datos históricos de los mismos centros a través del tiempo, se aplica la metodología de datos de panel, que es una mezcla entre datos de corte transversal y temporal. En ese sentido, al modelo de elección binario se combina datos de panel para obtener estimaciones econométricas que sean más consistentes. El modelo de elección discreta se puede presentar como sigue:

$$y_{it} = \beta' X_{it} + \mu_{it} \quad (2)$$

Donde  $y_{it}$  corresponde a la variable dependiente elegida por el individuo  $i$  en el tiempo  $t$ ,  $\beta$  es un vector de coeficientes,  $X_{it}$  es un vector que incluye a las variables independientes o exógenas y  $\mu_{it}$  corresponde al término error.

### 4.1 Modelo de Utilidad Aleatoria

El enfoque comúnmente utilizado a la hora de estudiar la elección por parte de los individuos es el Modelo de Utilidad Aleatoria, donde al modelar la decisión  $y_{it}$  dependerá de los beneficios que ahora se llamará  $\mathcal{U}$  (McFadden, 1974).

De esta manera se entiende que la elección por parte del individuo le genera una utilidad, que dependerá de  $X_{it}$ . La función la utilidad  $\mathcal{U}$  incorpora elementos observables y medibles por parte del investigador, también los atributos o características  $X_{it}$  y el término error  $\mu_{it}$  en el que se

incorporan los errores y otras variables no contempladas en el modelo. En ese caso, para modelo binario se tiene lo siguiente (Dresdner, 2003).

$$\begin{aligned} \mathcal{U}^S &= \beta'_S X_{it} + \mu_{it}^S \\ \mathcal{U}^N &= \beta'_N X_{it} + \mu_{it}^N \end{aligned} \quad (3)$$

donde  $S$  y  $N$  corresponden a la decisión de aceptar o no, respectivamente en este caso acogerse o no a una regulación.

De esta manera, se supone que la elección por parte de los individuos se hace de forma racional. En ese caso, se puede suponer que cualquiera de las alternativas a su disposición le generará una utilidad superior a la otra alternativa. Es decir que, si  $\mathcal{U}^S > \mathcal{U}^N \Rightarrow y_i = 1$  y en el caso de que  $\mathcal{U}^S \leq \mathcal{U}^N \Rightarrow y_i = 0$ .

∴

$$\begin{aligned} \text{Pr ob } (y_{it} = 1) &= \text{Pr ob } (\mathcal{U}^S > \mathcal{U}^N) = \text{Pr ob } (\beta'_S X_{it} + \mu_{it}^S - \beta'_N X_{it} - \mu_{it}^N > 0) \\ \text{Pr ob } (y_{it} = 1) &= \text{Pr ob } ((\beta'_S - \beta'_N) X_{it} + \mu_{it}^S - \mu_{it}^N > 0) \\ \text{Pr ob } (y_{it} = 1) &= \text{Pr ob } ((\mu_{it}^S - \mu_{it}^N > -(\beta'_S - \beta'_N)' X_{it}) \\ \text{Pr ob } (y_{it} = 1) &= \text{Pr ob } (\mu_{it} > \beta' X_{it}) \\ \text{Pr ob } (y_{it} = 1) &= F(\beta' X_{it}) \end{aligned} \quad (4)$$

donde  $\mu_i = \mu_{it}^S - \mu_{it}^N$  y  $\beta = \beta'_S - \beta'_N$  y  $F()$  es la función de distribución acumulada.

#### 4.1.1 Especificación del Modelo Econométrico

Dado que la variable de estudio corresponde a una binaria, se elige un modelo de respuesta cualitativa, entre los cuales se destaca el modelo Probit y Logit; este tipo de modelos son utilizados cuando se enfrenta al individuo a la decisión de tipo sí o no. En ese sentido, la variable dependiente,

solo puede tomar dos valores de 1 o 0 (Carrasco, 2002), por lo que se pretende explicar la elección por parte del individuo en función de las variables independientes que responden a características que se denotan como  $X_{it}$ .

Puesto que interesa establecer la probabilidad de ocurrencia de un evento ( $y_{it} = 1, y_{it} = 0$ ) en función de las variables independientes  $X$  y el vector de parámetros  $\theta$ , se plantea la siguiente relación.

$$\text{Pr ob } (y_{it} = 1) = G (X_{it}, \theta) \quad (5)$$

Donde  $i$  corresponde a  $i$ -ésimo individuo en el tiempo  $t$  y  $G$  es una función por determinar.

En la ecuación (6) establece la probabilidad de ocurrencia del evento, está influenciado por el conjunto de características  $X_{it}$  y del conjunto de parámetros  $\theta$ .

En ese sentido, se establece que la relación que existe entre la variable dependiente ( $y_{it} = 1, y_{it} = 0$ ) y las variables independientes  $X_{it}$ , determinadas tanto por la teoría económica y por las regulaciones existentes, e puede representar a través de la función  $H (X_{it}, \theta)$ .

$$H (X_{it}, \beta) = \beta' X_{it} \quad (6)$$

donde  $\beta$  es un vector de parámetros. Luego,

∴

$$P (y_{it} = 1) = F[H(X_{it}, \theta)] = F[\beta' X_{it}] \quad (7)$$

Una vez definida la forma en que se relacionan las variables, se especifica ahora como se determina la probabilidad de ocurrencia de  $y_{it} = 1$ . Si la función  $F[\cdot]$  está definida como la determinante de la probabilidad de ocurrencia del evento, la función de distribución acumulada es:

$$\begin{aligned} E(y_{it}|X_{it}) &= 1 \cdot F(\beta' X_{it}) + 0(1 - F(\beta' X_{it})) = F(\beta' X_{it}) \\ &= \text{Pr ob } (y_{it} = 1) \end{aligned} \quad (9)$$

En conclusión, el valor esperado de  $y_{it}$  condicionado en  $X_{it}$  es igual a la probabilidad que  $y_{it} = 1$ .

**El Modelo Logit.** El modelo Logit, se caracteriza porque permite estimar modelos probabilísticos basados en dos opciones. Este método sigue una función de probabilidad logística acumulativa, con errores que siguen una distribución logística.

A continuación, se muestra la probabilidad de que suceda un evento  $y_{it} = 1$

$$\text{Prob}(y_{it} = 1) = F(\beta'X_{it}) = \frac{e^{\beta'X_{it}}}{1 + e^{\beta'X_{it}}} = \Lambda(\beta'X_{it}) \quad (8)$$

donde  $\Lambda(\cdot)$  es la función de probabilidad acumulada logística.

En (8) el modelo de probabilidad tiene una especificación exponencial, de esta manera se ajusta a los requerimientos para que las estimaciones estén dentro del rango  $[0,1]$ .

Cuando la ecuación (10) es estimada con datos de panel, existen dos modelos alternativos: modelo binomial de efectos fijos y el modelo binomial de efectos aleatorios. En los modelos de efectos fijos se tiene un intercepto  $\alpha_i$  que captura el efecto de variables no observables que corresponden a características de cada individuo, estables en el tiempo. Bajo efectos fijos  $y_{it}$  se puede describir como:

$$\begin{aligned} y_{it} &= \beta_i X_{it} + \alpha_i + \mu_{it} \\ (\mu_{it}|X) &\sim \text{iid}(0, \sigma_u^2) \\ i &= 1, \dots, N; t = 1, \dots, T, \end{aligned} \quad (9)$$

donde,  $\beta_i$  y  $\alpha_i$  corresponde a los parámetros fijos, que capturan la heterogeneidad  $X_{it}$ , y  $\mu_{it}$  es un término error.

Si ahora se incorpora el término  $\alpha_i$  al modelo Logit, su representación será la siguiente:

$$\text{Pr ob } (y_{it} = 1) = F(\beta_i X_{it} + \alpha_i) = \frac{e^{\beta_i X_{it} + \alpha_i}}{1 + e^{\beta_i X_{it} + \alpha_i}} = \Lambda(\beta_i X_{it} + \alpha_i) \quad (12)$$

donde  $\alpha_i$  es el efecto individual idiosincrático.

El parámetro  $\alpha_i$  se podría interpretar como las características idiosincráticas individuales invariantes en el tiempo no explicadas por la  $F(\cdot)$  y los  $X_{it}$ . Uno de los inconvenientes que presenta este modelo es la pérdida de grados de libertad y aumento de la multicolinealidad, además de que eliminar cualquier componente que sea constante en el tiempo.

Por otra parte, en el modelo binomial de efectos aleatorios,  $\alpha_i$  se trata como aleatorio. Para este caso, el efecto individual no observado, no se correlaciona con las variables independientes, lo cual, implica que sus valores sean aleatorios y que los efectos individuales sean capturados por el intercepto. El modelo de efectos aleatorios se especifica como sigue:

$$y_{it} = \beta X_{it} + \alpha_i + \mu_{it}$$

$$(\mu_{it}|X) \sim \text{iid logit}, (\alpha_i|X) \text{ tiene densidad } \mathcal{G}(\alpha_i; \lambda) \quad (13)$$

$$i=1, \dots, N; t=1, \dots, T,$$

donde  $\alpha_i$  representa al cambio de intercepto estocástico en la evaluación de utilidad del individuo  $i$ ,  $\mathcal{G}$  es una función conocida y  $\lambda$  es el vector de parámetros.

En particular, al comparar la formulación, del modelo de efectos fijos con el modelo de efectos aleatorios, el segundo implica una menor cantidad de parámetros (Biørn, 2016), dado que no estima los efectos fijos por separado para cada individuo. Esto hace que se obtengan mayores grados de libertad y errores estándar más pequeños.

## 4.2 Especificación del Método

Para evaluar los determinantes de la decisión de normativa de densidad se realiza una revisión del marco normativo y de procedimiento expuesto en los informes técnicos de la SUBPESCA, donde se especifican las dos alternativas actuales, PRS o siembra por densidad. Los datos usados abarcan el periodo anual 2016 al 2019. La información considera factores corresponden a variables independientes donde el salmonicultor tiene el poder de decisión; como también donde la autoridad expone los resultados producto del comportamiento durante un ciclo productivo en el mar. Además, se incluyen otras variables independientes que intentan controlar el tamaño productivo de las empresas y el número de centros que operaron dentro de una ACS.

De acuerdo con lo anterior, se incluyen factores que son de elección por parte de la empresa según su estrategia productiva y que, además, estuvieran, total o parcialmente, disponibles en los reportes de la SUBPESCA (2020). Esta información corresponde a la especie a sembrar, la especie sembrada en el ciclo anterior, la densidad de siembra autorizada y las zonas geográficas como la región de los Lagos y la región de Aysén. La región de Magallanes no fue considerada dada la insuficiencia de los datos, por lo que se decidió enfocar el estudio en las regiones con mayor operación de las empresas salmoneras. Las variables seleccionadas revisten importancia dado que la elección de la especie influye directamente en el número y la densidad de siembra, por otra parte, la especie y cosechas del ciclo anterior podrían estar relacionadas con la decisión de siembra futura, pues el comportamiento anterior determina el nivel de siembra actual.

En este estudio se incorporaron variables reportadas en los informes técnicos de la SUBPESCA (2020), donde se tiene en cuenta elementos como la bioseguridad, los puntajes de INFA y las pérdidas totales. Estas variables corresponden al resultado del análisis previo realizado por la autoridad donde según el resultado de estas características ambientales se define la densidad

de siembra final para cada centro. Una de variables más relevantes se refiere al puntaje INFA dentro de los informes técnicos, la cual contempla, el porcentaje de las concesiones que operaron con INFA favorable. Esta condición reviste importancia, pues, en caso de ser anaeróbico, impediría el ingreso de smolt a los centros de cultivo.

Finalmente, se agregan variables que capturan el tamaño de las empresas, definido como la mayor cantidad de concesiones que figuran a su nombre por año. También se podría pensar que el número de centros de cultivo operativos por año independiente de su origen empresarial, influye en la decisión de acogerse a PRS o siembra por densidad, para controlar este posible efecto se agrega al modelo una variable que considera el número de centros que operaron por ACS y año.

Luego, el modelo que describe la elección por parte de las empresas se cómo:

$$\text{Pr ob } (y_{it} = 1) = F(\beta_i X_{it} + \alpha_i) = \frac{e^{\beta_i X_{it} + \alpha_i}}{1 + e^{\beta_i X_{it} + \alpha_i}} = \Lambda(\beta_i X_{it} + \alpha_i) \quad (15)$$

$i=1, 2, 3, \dots$

$t=1, 2, 3, \dots$

donde,  $y_{it}$  corresponde a la variable dependiente dicotómica que toma 1 si la empresa decide sembrar en el centro de cultivo bajo regulación por PRS y 0 en caso contrario,  $\beta_i$  es el vector de parámetros para cada  $i$  y  $X_{it}$  es el vector de variables explicativas.

A continuación, se muestran las variables explicativas que se tuvieron en cuenta en este estudio:

**Tabla 10.**

Definición de Variables Explicativas

Variable	Definición
$Sp_{it}$	Variable dicotómica que define la especie que se sembrará en el centro cultivo. Donde 1 es salmón del Atlántico y 0 es Coho o Trucha.

<b>Variable</b>	<b>Definición</b>
$SpAnterior_{it}$	Variable dicotómica que define la especie anterior con la que fue sembrada el centro de cultivo. Esta variable se define como:
$SpAnterior_{it}^1$	1 es salmón del Atlántico en el anterior ciclo productivo y 0 en otro caso.
$SpAnterior_{it}^2$	1 es Coho o Trucha en el anterior ciclo productivo y 0 en otro caso.
$SpAnterior_{it}^3$	1 es para registros sin especie definida para el ciclo anterior en los informes de SUBPESCA y 0 en otro caso. Esta variable se usa como base.
$Densidad\_Centro_{it}$	Define la densidad máxima final, medida en kg/m <sup>3</sup> , autorizados a sembrar en el centro de cultivo.
$BiosASC_{it}$	Variable dicotómica que define la situación sanitaria con la que fue evaluada la ACS. Para este caso se agruparon las clasificaciones de los informes técnicos en tres categorías principales y se crean tres variables dummy:
$BiosASC_{it}^1$	1 es una bioseguridad de la ACS alta y 0 en otro caso.
$BiosASC_{it}^2$	1 es una bioseguridad de la ACS media y 0 en otro caso.
$BiosASC_{it}^3$	1 es una bioseguridad de la ACS baja (Bioseguridad ACS Baja) y 0 en otro caso. Esta variable se usa como base.
$PuntajeInfa_{it}$	Indica el puntaje (anaeróbico, aeróbico) obtenido después de un ciclo en el mar de la ACS y depende de la cantidad de centros aeróbicos por ACS durante el periodo analizado.
$PuntajeBios_{it}$	Indica el puntaje obtenido (pérdidas totales) después de un ciclo en el mar de la ACS (Barrio).
$PérdidaTotalACS_t$	Pérdida total de peces por parte de la ACS durante el ciclo de cultivo. Se mide en porcentaje.
$ Holding\_Tamaño_{it}$	Muestra el número de centros de cultivo que pertenecen a un holding en un año determinado.
$N\_centrosASC_t$	Indica el número de centros que operaron por año dentro de una ACS.
$Año$	Variable dicotómica para controlar los periodos 2017 a 2019.
$Región$	Variable dicotómica que considera las regiones de Los Lagos y Aysén.

### 4.3 Datos

Dado que no se pudo contar con una información consolidada, se optó por realizar varias solicitudes de ley de transparencia, con el fin de obtener datos para el análisis. Además, se digitaron 511 documentos que corresponden a resoluciones de siembra e informes técnicos de la SUBPESCA.

#### **4.3.1 Cosechas de Salmón de Cultivo**

Se solicitaron los datos de las cosechas de salmón del Atlántico, salmón Coho y trucha arcoíris a través de la Ley de Transparencia a SERNAPESCA; esta información contiene datos anuales desde 2015 hasta 2019 de forma agregada y no podía ser individualizada ni vinculada a los centros de cultivo. Se optó, por tanto, por incluir los reportes de cosecha de los informes técnicos de la Subpesca, cuyos datos se encontraban disponibles en el ámbito de región, especie y ACS.

#### **4.3.2 Siembra de Salmón de Cultivo**

Para establecer el número de siembras de salmón, se solicitó por medio de ley de transparencia los centros activos del cultivo de salmón que se cosecharon o tuvieron operaciones dentro del rango de años de 2000 a 2019. Esta información contiene el año, la especie, el código del centro, los meses de operación para las tres regiones.

Una vez obtenida la información anterior se conformó una base de datos paralela donde se cruzó la información de las resoluciones de siembra por centro de la SUBPESCA y los que estuvieron en operación. Los valores de siembra, así como de densidad, fueron agregados a la base de datos final, salvo los centros con siembras inferiores a 100.000 peces por sospecha de que solamente ejercen soberanía en una concesión.

#### **4.3.3 Clasificación Sanitaria y Ambiental de los Centros de Cultivo de Salmón**

Para obtener la clasificación, se revisó y digitó la información sanitaria, tales como, las pérdidas por centro de cultivo, pérdidas por ACS, clasificación de bioseguridad y puntaje sanitario. En el caso de la INFA, se introdujeron los resultados por centro de cultivo, la clasificación por ACS y puntaje de INFA por ACS y, por último, en lo productivo se ingresaron las proyecciones de siembra por centro y por ACS.

#### ***4.3.4 Empresas Cultivadoras de Salmón***

El código del centro de cultivo, esta información se cruzó con los códigos de centros de cultivo reportados en los informes técnicos y las resoluciones de siembra, los cuales indicaban a la empresa a la cual pertenecían. Sin embargo, al consolidar la información el resultado era de más de 48 empresas, por lo que se optó en agrupar con respecto a Holding, quedando 19 conglomerados. Para algunas no fue posible conocer su origen o el Holding al cual correspondía, por lo que se decidió eliminar dada sus pocas observaciones.

## 5. Resultados

### 5.1 Estadística Descriptiva de los Centros de Cultivo de Salmón en el Mar.

La Tabla 11 muestra la estadística descriptiva de las variables relevantes en este estudio. Luego de eliminar los centros que no tenían continuidad histórica, se quedó con 470 observaciones. Por otra parte, en cuanto a las especies de siembra, las cuales corresponden a salmón del Atlántico, salmón Coho y trucha arcoíris, se las clasifica como de ciclos anteriores o en proyecto, según sea el caso.

**Tabla 11.**

*Resumen de Estadística Descriptiva*

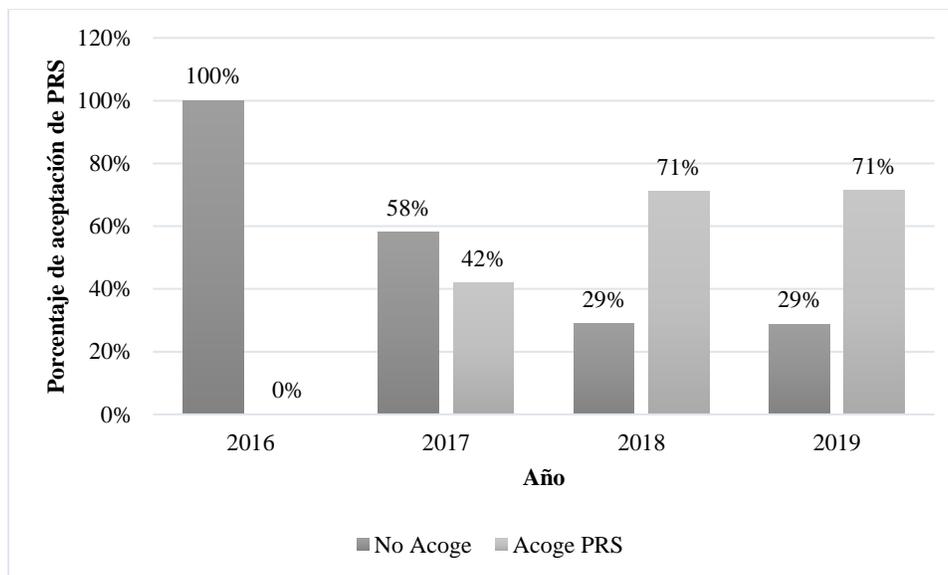
<b>Variable (PRS)</b>	<b>Obs</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Centros cultivo	470				
$SpAnterior_{it}^1$	470	0,5	0,5	0,0	1,0
$SpAnterior_{it}^2$	470	0,2	0,4	0,0	1,0
$SpAnterior_{it}^3$	470	0,3	0,4	0,0	1,0
$Densidad\_Centro_{it}$	470	14,0	3,7	3,0	17,0
$BiosASC_{it}^1$	470	0,2	0,4	0,0	1,0
$BiosASC_{it}^2$	470	0,1	0,3	0,0	1,0
$BiosASC_{it}^3$	470	0,7	0,4	0,0	1,0
$PuntajeInfa_{it}$	470	92,9	13,6	25,0	100,0
$PuntajeBios_{it}$	470	36,0	34,0	-27,5	100,0
$PérdidaTotalACS_t$	470	11,0%	5,0%	0,0%	21,0%
$ Holding\_Tamaño_{it}$	470	13,5	7,5	1,0	30,0
$N\_centrosACS_t$	470	11,3	8,1	1,0	34,0

La densidad ( $Densidad\_Centro_{it}$ ) presenta un promedio de 14 kg/m<sup>3</sup>; el promedio de los puntajes INFA ( $PuntajeInfa_{it}$ ) es de 92,9, el puntaje bioseguridad ( $PuntajeBios_{it}$ ) en promedio está 36, y por último las pérdidas totales por ACS  $PérdidaTotalACS_t$  en promedio consideran un 11 %.

Tal como se muestra en la Figura 3, en el año 2016 un 0 % de los centros se acogieron a la regulación por PRS; el porcentaje más bajo en el periodo analizado. Por el contrario, en los años siguientes se incrementa el porcentaje, pasando del 42 % en 2017 al 71 % en 2019.

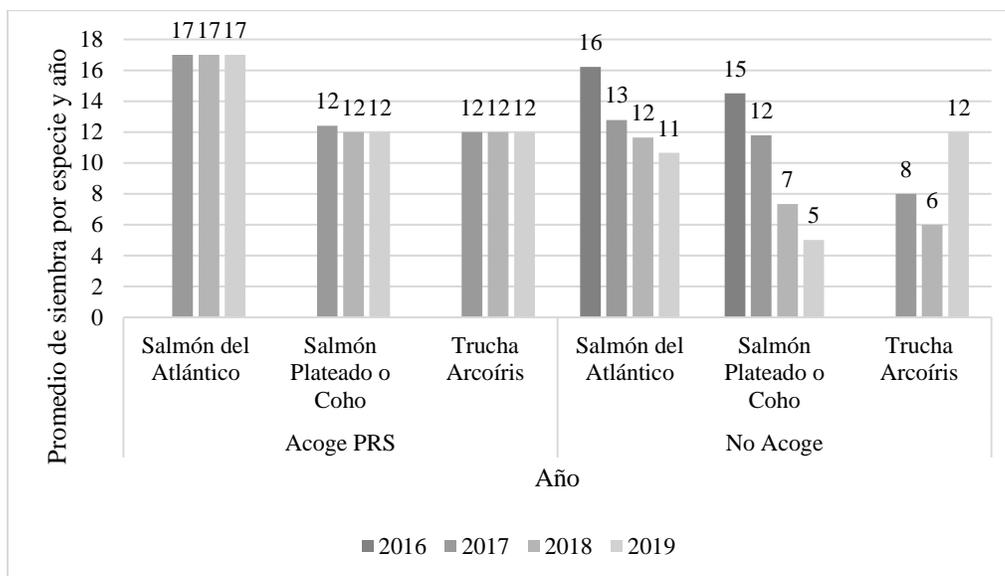
### Figura 3.

*Porcentaje de Acogida a la Regulación de Densidades por PRS, 2016-2019 (kg)*



Nota. Figura realizada a partir de los datos de SUBPESCA (2020). El eje derecho representa el porcentaje de acogida de la regulación de PRS por en los centros de cultivo y en el eje de las abscisas los años.

En la Figura 4 se puede observar como el promedio de densidad final ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) en los centros que no se acogen a la regulación ha ido decayendo en la mayoría de los casos. Por el contrario, los centros que se acogen al PRS muestran una estabilidad en sus densidades en el transcurso del periodo 2016 a 2019.

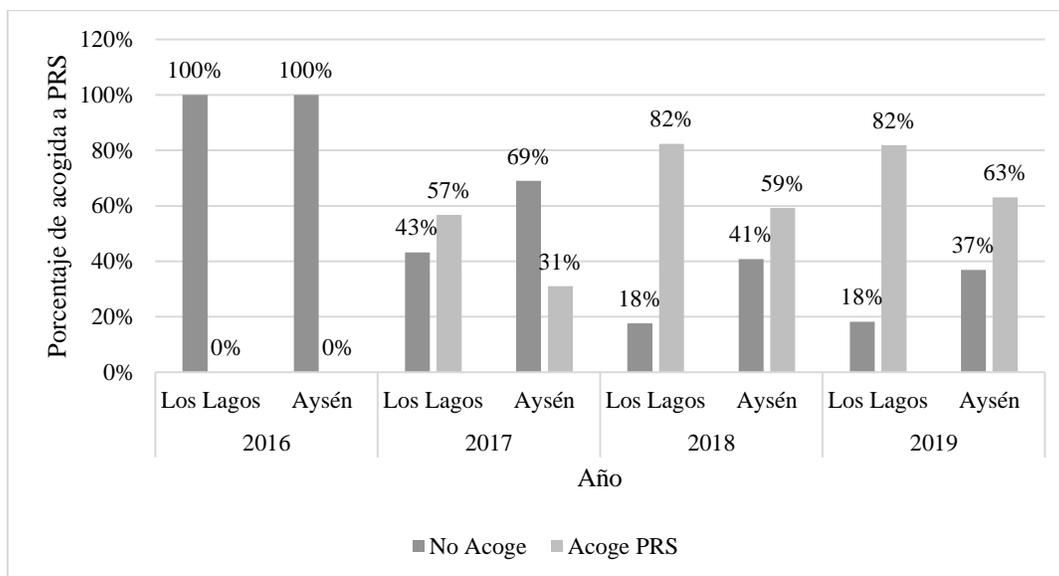
**Figura 4.***Promedio de Densidad Final Autorizado*

*Nota.* Figura realizada a partir de los datos de SUBPESCA (2020). El eje de las ordenadas representa el promedio de densidad final ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) en los centros de salmón, se discrimina por especie y si se acoge o no a un PRS y en el eje de las abscisas los años.

En la Figura 5 se muestra el porcentaje anual por región, de los centros que se acogen a la regulación por PRS. Como se logra apreciar en el año 2016 corresponde al 0 %, para la región de Los Lagos y Aysén, mientras que para el año 2017 dicho porcentaje es de un 57 % y 31 %, respectivamente. Para los años 2018 y 2019 el porcentaje se incrementa al 82 % para Los Lagos y para Aysén pasa del 59 % al 63 %.

**Figura 5.**

*Porcentaje de Acogida a PRS por Región*



*Nota.* Figura realizada a partir de los datos de SUBPESCA (2020). El eje de las ordenadas representa el porcentaje de acogida a PRS por región y en el eje de las abscisas los años.

## 5.2 Estimación de los Determinantes en la Decisión de Acogerse al PRS

Para obtener los principales determinantes en la decisión de acogerse al PRS, se procede a estimar el modelo Logit para datos de panel no balanceado con efectos aleatorios. Cabe mencionar que la elección de esta metodología obedece a que dentro del modelo existe variables explicativas que no sufren variaciones en el tiempo y dado que los modelos de efectos fijos recogen las diferencias entre los individuos, utilizarlos haría que las variables se eliminen. Por otra parte, tiene como desventajas la pérdida de grados de libertad, la multicolinealidad y la generación de un amplio de número de regresores si el número observaciones es muy grande.

Por otro lado, los modelos de efectos aleatorios consideran que no existe una correlación entre los efectos individuales y las variables explicativas, por lo que el término  $\alpha_i$  se puede descomponer en una parte constante  $\alpha$  y otra aleatoria  $\epsilon_i$ . Sin embargo, para comprobar lo anterior

se acude a la prueba de Hausman, por lo que se decide optar por estimadores de efectos aleatorios. Los resultados de dicha prueba se muestran en el apéndice 1 e indican que p-valor  $>0,05$ , por lo tanto, se admite la hipótesis nula de igualdad de estimaciones y se selecciona el estimador más eficiente, el de efectos aleatorios.

A continuación, se muestra los resultados del modelo Logit en la Tabla 12.

**Tabla 12.**

*Estimación del Modelo Logit*

<b>Variables</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Desviación Estándar</b>
$Sp_{it}$	-9,882 *	5,617
$SpAnterior_{it}^1$	1,711 ***	0,461
$SpAnterior_{it}^2$	-0,091	0,759
$Densidad\_Centro_{it}$	1,691	1,036
$BiosACS_{it}^1$	-3,526 ***	0,971
$BiosACS_{it}^2$	- 0,354	0,717
$PuntajeInfa_{it}$	0,048**	0,022
$PuntajeBios_{it}$	-0,006	0,010
$PérdidaTotalACS_t$	-2,112	6,381
$Holdings\_Tamaño_{it}$	-0,001	0,027
$N\_centrosACS_t$	0,003	0,031
$Año\_Dummy\ 2018$	1,009 *	0,530
$Año\_Dummy\ 2019$	0,156	0,490
$Región$	-0,828	0,586

\*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

Los resultados obtenidos en el modelo de decisión Logit que se presentan en la Tabla 12. Se puede observar que la variable  $Sp_{it}$  que corresponde a la especie salmón del Atlántico tiene un efecto negativo sobre la elección de siembra por PRS, lo que supone una débil preferencia por Coho o Trucha. También se puede observar el efecto positivo y significativo de la  $SpAnterior_{it}^1$  sobre la elección PRS. La variable  $Densidad\_Centro_{it}$  resulta no ser significativo, no obstante,

se podría decir que desde el punto de vista productivo resultaría atractivo poder sembrar a una mayor densidad.

En el caso de las variables  $BiosACS_{it}^1$  y  $BiosACS_{it}^2$ , el efecto es negativo, pero solamente la  $BiosACS_{it}^1$ , resulta ser significativa. Este resultado concuerda con lo esperado, ya que el salmonicultor no estimaría necesario la elección de siembra por PRS cuando el puntaje es  $>90$  puntos. En cuanto a la variable  $PuntajeBios_{it}$ , el efecto es negativo y no significativo; no obstante, se podría esperar que concuerde el resultado de la variable anterior, pero el puntaje de bioseguridad recoge los datos en cuanto a Holding, mientras que  $BiosACS_{it}$  lo hace en ACS.

En el caso de la variable  $PuntajeInf_{it}$ , el efecto es positivo y significativo, lo que significa que influye en la elección de siembra por PRS. Este resultado es consistente con lo esperado, ya que un centro de cultivo solo puede operar con una calificación anaeróbica. Esto podría deberse a un conocimiento previo del estado ambiental o a la remediación en el fondo marino.

En cuanto a las variables  $Holding\_Tamaño_{it}$ ,  $N\_centrosACS_t$  y  $Región$  no son significativas; por lo que no tienen efecto alguno sobre la elección del tipo de siembra, al contrario de la variable  $Año$  Dummy 2018, la cual es significativa y posee un efecto positivo en ese año sobre la decisión de sembrar por PRS.

### **5.3 Importancia de los Determinantes en la Decisión de Acogerse al PRS**

Una vez evaluado el modelo Logit para datos de panel, se estiman sus efectos marginales, con este procedimiento se espera conocer las variables más relevantes para el titular a la hora de elegir sobre cual regulación de siembra acogerse. Las estimaciones de la Tabla 13 corresponden a los efectos marginales de las variables.

**Tabla 13.***Estimación de los Efectos Marginales del Modelo Logit*

<b>Variables</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Desviación Estándar</b>
$Sp_{it}$	-0,101	0,070
$SpAnterior_{it}^1$	0,366***	0,052
$SpAnterior_{it}^2$	0,298***	0,090
$BiosACS_{it}^1$	-0,348***	0,075
$BiosACS_{it}^2$	-0,228***	0,070
$PuntajeInfa_{it}$	0,0044***	0,002
<i>Año Dummy 2018</i>	0,141**	0,056
<i>Año Dummy 2019</i>	0,107**	0,055

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Como se puede apreciar, la variable  $SpAnterior_{it}^1$ , tiene el valor más alto del modelo, lo que implica que si en el registro anterior de siembra la especie correspondía a salmón del Atlántico, entonces la probabilidad que el titular de la concesión se acoja a un PRS aumenta en un 36,6 %. En el supuesto de que la especie haya sido Trucha o Coho ( $SpAnterior_{it}^2$ ), la misma probabilidad aumenta en un 29,8 % en comparación con los centros que no tienen registros de la especie.

Por otro lado, las variables  $BiosASC_{it}^1$  y  $BiosASC_{it}^2$  tienen un impacto negativo, de manera que, al tener una bioseguridad alta y media, reducen la probabilidad de acogerse a PRS en 34,8 % y 22,8 % respectivamente; en cambio, en contraste, en una unidad el  $PuntajeInfa_{it}$  la probabilidad de elegir PRS aumenta en 0,438 %.

En el caso de las variables *Año Dummy 2018* y *Año Dummy 2019*, si se toma como base el año 2017, tienen un impacto de 14,1 % y el 10,7 % respectivamente, lo cual muestra que en el año 2018 hubo una mayor probabilidad de acogerse a PRS.

## 6. Discusión

En este estudio se identificaron los principales determinantes en la elección de la regulación de siembra, entre los cuales se destacan la  $SpAnterior_{it}^1$ ,  $SpAnterior_{it}^2$ ,  $PuntajeInf_{it}$ ,  $BiosASC_{it}^1$  y  $BiosASC_{it}^2$ . La bioseguridad de la ACS resulta de mayor importancia para el tomador de decisiones, pues de acuerdo con los resultados, la decisión de acogerse o no al PRS está condicionada a los resultados de la bioseguridad.

Si bien la estadística descriptiva indicó que la región de Los Lagos es la que más se acoge a PRS, la variable *Región* resultó no significativa. Una posible explicación es que las variables de tipo regional no se tienen en cuenta a la hora de decidir si se realiza o no la siembra; sino que, una vez tomada la decisión de sembrar, se consideran más relevantes las variables productivas y de bioseguridad, ya que son las que finalmente determinan la cantidad de smolt que ingresan y la viabilidad económica del centro de cultivo.

Al estimar los coeficientes del modelo Logit, la variable  $Sp_{it}$  resultó ser significativa al 10 % y posee un efecto negativo sobre la elección. Sin embargo, al calcular los efectos marginales esta variable pierde significancia para la elección de siembra por PRS. Posiblemente, la poca robustez de este resultado se deba a un efecto de eficiencia, es decir, que las concesiones con tradición histórica en un salmónido se especializan en cultivar la especie en la cual han adquirido experiencia (Asche & Roll, 2013; Dresdner et al., 2016).

Las variables que corresponde a la siembra en el ciclo anterior,  $SpAnterior_{it}^1$  y  $SpAnterior_{it}^2$ , son relevantes para el salmonicultor al momento de decidir a cuál regulación acogerse y, quizás, se debe a la conveniencia de sembrar a la mayor densidad posible con una especie ya conocida; para el salmón de Atlántico la densidad es mayor en 5 kg/m<sup>3</sup> que para la trucha y Coho. De hecho, en 2019 las cosechas de salmón del Atlántico supusieron el 71 % del

total de salmónidos (SERNAPESCA, 2022). Además, el salmón del Atlántico tiene mayores expectativas de rentabilidad y mayor demanda en los mercados de exportación. De acuerdo con Shamshak et al. (2019), en 2017, después del camarón, el salmón fue la segunda especie más consumida en Estados Unidos; este factor externo podría explicar la decisión que toman los productores al sembrar esta especie.

Estos resultados sugieren que el tamaño del  $Holding\_Tamaño_{it}$  y  $N\_centrosACS_t$  no son relevantes y no impactan las decisiones de siembra. Una posible explicación es que, en 2019, de las 1.357 concesiones, se utilizan aproximadamente 500, y estas pasan por periodos de descanso sanitario, lo que reduce aún más el número de centros de cultivo activos. Asimismo, otras no se utilizan debido a su tamaño pequeño y a la escasa profundidad, lo cual las hace inviables económicamente (Silva & Soto, 2022). Este efecto contribuiría parcialmente a disminuir el número de centros de operaciones de ACS. Ahora bien, los impactos ambientales atribuidos a una alta cantidad de concesiones relativamente cercanas, (Poblete et al., 2019), podrían estar asociados a que las empresas tienden a ubicar sus centros de forma más distante uno del otro. Por otro lado, los cambios regulatorios también estarían influyendo en la localización de los centros de cultivo, incrementando la distancia entre ellos y motivando la expansión salmonera hacia el sur (Estay & Chávez, 2015; Iizuka & Zanlungo, 2016).

Las variables medio ambientales afectan el número de ingresos de smolt a los centros de cultivo e impactan en la elección de la regulación de siembra. Una de las más relevantes es la variable  $PuntajeInfa_{it}$  que, aun cuando en este estudio el impacto fue de 0.44 %, un valor relativamente bajo, en comparación con las demás variables; se podría explicar por el monitoreo periódico y la obligación de entregar los resultados INFA previo al inicio de siembra (Silva & Soto, 2022). Lo anterior se debe probablemente a que, a pesar de su importancia, los resultados

son conocidos y, en caso de ser necesario, se hayan llevado a cabo operaciones de remediación<sup>7</sup> en el fondo marino. Es preciso puntualizar que, conforme a la normativa vigente, es necesario disponer de condiciones aeróbicas para poder operar, ya que, de lo contrario, las bajas concentraciones de oxígeno pueden provocar diferencias en las tasas de degradación de la materia orgánica y alteraciones en la macrofauna de las diferentes concesiones (Urbina, 2016; Quiñones et al., 2019).

Posteriormente, el nivel de bioseguridad ( $BiosACS_{it}$ ) es el resultado de las estimaciones de pérdida, proyecciones de siembra de los centros de cultivo entre ACS y el estado de las INFAS. Los resultados en esta investigación sugieren que  $BiosACS_{it}^1$  e  $BiosACS_{it}^2$  impactan negativamente en 34,8 % y 22,8 % respectivamente la decisión de acogerse a PRS. Este resultado era de esperar, pues, según la normativa vigente, una clasificación de bioseguridad alta, indica que en conjunto sus variables de INFA, las pérdidas y la proyección de siembra obtienen un puntaje mayor a 90 puntos, lo cual le otorga la posibilidad de una densidad máxima de cultivo de 17 kg/m<sup>3</sup>, mientras que, en el caso de salmón Coho y trucha es de 12 kg/m<sup>3</sup>. Por otro lado, los resultados parecen indicar que un nivel de bioseguridad medio (entre 80 y 90 puntos), es decir, densidades de cultivo de 15 kg/m<sup>3</sup> para salmón del Atlántico y de 11 kg/m<sup>3</sup> para trucha y Coho, hará que los titulares no opten por el PRS. Se podría suponer que sembrar a las densidades anteriores presentaría un beneficio favorable para los salmonicultores; de lo contrario (menor a 80 puntos), si el titular del centro de cultivo decide no acogerse a PRS, esto implicaría que sus densidades de siembra para el caso de salmón de Atlántico estarían entre 4 y 13 kg/m<sup>3</sup>. Es

---

<sup>7</sup> La remediación del fondo marino se enfoca en modificar las condiciones de oxígeno presentes en una concesión. El método más común es la inyección de oxígeno.

probable que, sembrar a estas densidades finales, no sea factible desde el punto de vista económico, ya que, supondría mantener el mismo número de peces proyectados al ingreso, distribuyéndolos en una mayor cantidad de jaulas.

Dado que no se cuenta con datos públicos sobre los costos de producción de la industria, no se puede estimar el costo que tiene producir a bajas densidades. A pesar de ello, el desaprovechamiento de los recursos haría ineficiente los sistemas de cultivo. De hecho, podría conducir a una disminución en la productividad y disminución en la competitividad, lo cual es un factor clave en el éxito de la acuicultura moderna (Kumar & Engle, 2016). En particular, Chile, después de una serie de aumentos en sus costos de producción desde 2005, experimentó una disminución después de 2015, debido a los bajos costos laborales y de depreciación que tiene la salmonicultura en el país (Iversen et al., 2020). De este modo, estas limitantes reducen expansión de la producción, producto de las condiciones de bioseguridad, ocasionando altos costos (Chávez et al., 2019; Rocha Aponte & Tveterås, 2019; Silva & Soto, 2022).

Ahora bien, si el titular del centro de cultivo decide acogerse a PRS, que es la opción que suele ocurrir, esto le permitirá llevar el cultivo a densidades de 17 kg/m<sup>3</sup>. No obstante, esto implicará una reducción en el número de siembra y la distribución de la cantidad prevista en otras concesiones. Esta decisión puede estar motivada probablemente por el uso eficiente de los recursos o la cercanía de los resultados de la resolución de siembras, cuando los peces están próximos a ingresar al mar, lo cual reduce el espacio para maniobras productivas que permitan evaluar la siembra en otras concesiones con mejores calificaciones.

La evaluación de bioseguridad se basa en los resultados de los elementos sanitarios, ambientales y productivos, cuyos valores ponderados son del 55 %, 10 % y 35 %, respectivamente. Los primeros datos corresponden a los obtenidos durante y al finalizar el ciclo

de cultivo; en cambio, la parte productiva corresponde a las proyecciones de siembra realizadas por las empresas que operan dentro de la ACS, es decir, que la decisión del número de smolt a sembrar en los centros de cultivo es el resultado de las intenciones de todas las partes. Esto significa que, si aumentamos el número de peces en comparación con el suministro previo, esto tendrá un impacto negativo en la clasificación de bioseguridad. Por consiguiente, se podría inferir que la normativa vigente tiene como propósito restringir el aumento de la salmonicultura, imponiendo reducciones de densidades de siembra, teniendo en cuenta aspectos de coordinación entre los diferentes titulares, quizá sea preciso contemplar una política de siembra centrada en factores sanitarios y ambientales en el ámbito de ecosistema tal como lo menciona Soto et al. (2020).

Aunque se controlan las mediciones ambientales y sanitarias en cada centro de cultivo por normativa, no se pueden identificar los efectos sobre el ecosistema (Silva & Soto, 2022). Este enfoque sería más técnico y tendría en cuenta las capacidades de carga<sup>8</sup> de cada lugar, considerando una formulación del espacio marino en el ámbito de ecosistema y no de ACS como se viene realizando actualmente (Soto et al., 2020).

Los resultados indican que, al recibir una calificación de bioseguridad baja, es más probable que se acoja al PRS, lo que supone que su número de siembras sea distribuido en las ACS en las que haya declarado intenciones de siembras. Aunque la norma establece como límite los proyectos técnicos de cada concesión o RCA, no se conoce el efecto que tendría la distribución a nivel del ecosistema. No obstante, según Soto et al. (2020) se han identificado el estuario y seno

---

<sup>8</sup> Es el número o volumen máximo de peces que un cuerpo de agua puede soportar sin causar un cambio inaceptable en los ecosistemas. (Quiñones et al., 2019)

de Reloncaví, los fiordos Comau, Puyuhuapi, Quintralco y Cupquellan como los lugares de mayor riesgo para los ecosistemas y para la industria salmonera. Esto se debe a que tienen una baja tasa de renovación de agua (edad del agua), bajos niveles de oxígeno en el fondo marino (índice de hipoxia) y la biomasa producida por la acuicultura, lo que a su vez genera un mayor riesgo de eutrofización y que, en consecuencia, la presión de las siembras podría originar problemas sanitarios y ambientales. Cabe mencionar que en 2016 ocurrió un evento que causó una mortalidad masiva en el seno de Reloncaví, lo cual ocasionó pérdidas por alrededor de USD \$800 millones y uno de los factores que provocaron fue la baja tasa de recambio del agua (Chávez et al., 2019; Mardones et al., 2021).

Tal vez para el hacedor de políticas públicas y el tomador de decisiones, las siembras que se deberían permitir podrían ser determinadas en función del resultado de variables sanitarias y ambientales, es decir, en criterios objetivos, que en conjunto reflejen la capacidad de carga que el cuerpo de agua está en condiciones de admitir (Iizuka & Zanlungo, 2016; Chávez et al., 2019; Soto et al., 2020). De adoptarse esta perspectiva, el enfoque individual cedería el paso a uno más propio del ámbito de ecosistema, lo que probablemente disminuiría las externalidades negativas inherentes al sector y mejoraría la percepción de las comunidades. En otras palabras, el número de smolt que se sembraría se basaría en los resultados sanitarios y ambientales del ecosistema y no en el nivel ACS ni en la concesión.

Las posibles consecuencias de lo anterior podrían ser una mayor expansión de la salmonicultura a nivel geográfico y el surgimiento de conflictos sociales por el uso del espacio con otras actividades. No obstante, la sostenibilidad ambiental y económica del sector podría incrementar los beneficios al reducir las externalidades negativas, como el riesgo de enfermedades y la eutrofización de los ecosistemas, entre otros.

Es evidente que esta propuesta debería ser acordada por todas las partes involucradas, esto permitiría realizar una transición productiva hacia sectores menos sensibles desde el punto de vista ambiental sin afectar la competitividad al sector salmonero (Pincinato et al., 2021). Asimismo, se requiere establecer una estrecha coordinación entre el sector estatal y salmonero, mediante la aplicación de políticas que fomenten la utilización de la innovación, con el objetivo de impulsar una industria sostenible con el medioambiente (Afewerki et al., 2022).

## Conclusiones

En este estudio se identificaron los principales factores que consideran las empresas salmoneras a la hora de adherirse o no al PRS mediante el uso de un modelo Logit para datos de panel. Dado que la empresa se enfrenta a una decisión de tipo binario. Para ello, se consolidaron los datos existentes en informes técnicos y en las consultas realizadas por ley de transparencia.

Se encontró que los principales determinantes en la elección del PRS son las especies que se sembraron en ciclos de cultivo anteriores, siendo el salmón del Atlántico la especie destacada y en segundo lugar la trucha y el Coho. Asimismo, los efectos marginales del modelo estimado indica que el salmón del Atlántico y la Trucha o Coho tienen un impacto del 36,6 % y 29,8 % respectivamente, en la decisión de acogerse a PRS.

Con respecto a las variables de bioseguridad de las ACS, los resultados concuerdan con lo esperado, es decir, una mayor bioseguridad hace menos probable que se acoja a PRS; por otro lado, una calificación baja, tiene un impacto positivo sobre la decisión de acogerse a PRS y posiblemente los motivos de la decisión sean económicos.

El acogerse a la PRS puede llevar a reducir el número de siembras con respecto al abastecimiento anterior, distribuirlo en otras concesiones y sembrar a máximas densidades finales. Esta decisión podría deberse a la necesidad del productor de utilizar los recursos de manera eficiente.

El método actualmente utilizado por la regulación podría estar provocando puntuaciones bajas en las ACS, ya que, en uno de los apartados, se contemplan las intenciones de siembra de todos los operadores que hay en una ACS. En consecuencia, lo más conveniente sería fundamentarse en variables ambientales y sanitarias que reflejen la capacidad de carga de un área geográfica más amplia que una ACS y concesión.

Finalmente, el tamaño del holding y el número de centros operando por ACS no tienen influencia en la decisión de adherirse a PRS, probablemente debido a una cantidad menor de centros operando debido a los descansos sanitarios e incremento de la distancia entre los centros de cultivo debido a la regulación.

## Referencias

Aasetre, J., & Vik, J. (2013). Framing the environment – Disputes and developments in the management of Norwegian salmon fjords. *Ocean & Coastal Management*, 71, 203-212. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.09.001>

Abolofia, J., Asche, F., & Wilen, J. E. (2017). The Cost of Lice: Quantifying the Impacts of Parasitic Sea Lice on Farmed Salmon. *Marine Resource Economics*, 32(3), 329-349. <https://doi.org/10.1086/691981>

Afewerki, S., Asche, F., Misund, B., Thorvaldsen, T., & Tveteras, R. (2022). Innovation in the Norwegian aquaculture industry. *Reviews in Aquaculture*, 15(2). <https://doi.org/10.1111/raq.12755>

Alegría, C. (2018, agosto 22). *Por qué hay salmoneras que sí quieren restricciones al crecimiento.* El Mercurio Inversiones. <http://www.elmercurio.com/Inversiones/Noticias/Analisis/2018/08/21/Mercado-quieme-mantener-la-estabilidad-de-salmoneras.aspx>

Asche, F., Cojocar, A. L., & Sikveland, M. (2018). Market shocks and salmon aquaculture: The impact of the Chilean disease crisis. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 50(2), 255-269. <https://doi.org/10.1017/aae.2017.33>

Asche, F., Hansen, H., Tveteras, R., & Tveteras, S. (2009). The Salmon Disease Crisis in Chile. *Marine Resource Economics*, 24(4), 405-411. <https://doi.org/10.1086/mre.24.4.42629664>

Asche, F., & Roll, K. H. (2013). Determinants of inefficiency in Norwegian salmon aquaculture. *Aquaculture Economics & Management*, 17(3), 300-321. <https://doi.org/10.1080/13657305.2013.812154>

Asche, F., Roll, K. H., & Tveteras, R. (2009). Economic inefficiency and environmental impact: An application to aquaculture production. *Journal of Environmental Economics and Management*, 58(1), 93-105. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2008.10.003>

Avendaño-Herrera, R. (2021). Salmon aquaculture, *Piscirickettsia salmonis* virulence, and one health: Dealing with harmful synergies between heavy antimicrobial use and piscine and human health comment on Cabello and Godfrey (2019). *Aquaculture*, 532, 736062. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736062>

Balbontín López, C. (2020, septiembre 29). *Respuesta SIAC N° 460234820* [Comunicación personal].

Balbontín López, C. (2020, octubre 12). *Responde requerimiento de solicitud de información* [Comunicación personal].

Balbontín López, C. (2020, noviembre 23). *Responde requerimiento de solicitud de información* [Comunicación personal].

Banco Central de Chile. (2019). *Indicadores de Comercio Exterior Primer trimestre 2019* (p. 262). Banco Central de Chile. [https://www.bcentral.cl/documents/33528/133362/ICE\\_I\\_2019.pdf](https://www.bcentral.cl/documents/33528/133362/ICE_I_2019.pdf)

Barton, J. R. (1997). Revolución azul?: El impacto regional de la acuicultura del salmón en Chile. *EURE Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales*, 23(68), 57-76.

Biørn, E. (2016). *Econometrics of Panel Data: Methods and Applications*. Oxford University Press. <https://books.google.cl/books?id=4cNLDQAAQBAJ&hl=es>

Bjelland, H. V., Fore, M., Lader, P., Kristiansen, D., Holmen, I. M., Fredheim, A., Grotli, E. I., Fathi, D. E., Oppedal, F., Utne, I. B., & Schjolberg, I. (2015). Exposed Aquaculture in

Norway. *OCEANS* 2015 - *MTSIEEE* Washington, 1-10.  
<https://doi.org/10.23919/OCEANS.2015.7404486>

Björnsson, B. T., Stefansson, S. O., & McCormick, S. D. (2011). Environmental endocrinology of salmon smoltification. *General and Comparative Endocrinology*, 170(2), 290-298. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2010.07.003>

Brown, A. R., Lilley, M., Shutler, J., Lowe, C., Artioli, Y., Torres, R., Berdalet, E., & Tyler, C. R. (2020). Assessing risks and mitigating impacts of harmful algal blooms on mariculture and marine fisheries. *Reviews in Aquaculture*, 12(3), 1663-1688. <https://doi.org/10.1111/raq.12403>

Bruce, T. J., Ma, J., Jones, E. M., Vuglar, B. M., Oliver, L. P., Knupp, C., Loch, T. P., & Cain, K. D. (2021). Assessment of *Flavobacterium psychrophilum*-associated mortality in Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Journal of Fish Diseases*, 44(5), 645-653. <https://doi.org/10.1111/jfd.13349>

Burridge, L., Weis, J. S., Cabello, F., Pizarro, J., & Bostick, K. (2010). Chemical use in salmon aquaculture: A review of current practices and possible environmental effects. *Aquaculture*, 306(1-4), 7-23. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.05.020>

Bustos, B. (2012). Brote del virus ISA: Crisis ambiental y capacidad de la institucionalidad ambiental para manejar el conflicto. *EURE (Santiago)*, 38(115), 219-245. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612012000300010>

Cárdenas-Retamal, R., Dresdner-Cid, J., & Ceballos-Concha, A. (2021). Impact assessment of salmon farming on income distribution in remote coastal areas: The Chilean case. *Food Policy*, 101, 102078. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2021.102078>

Carrasco, R. (2002). *Modelos de elección discreta para datos de panel y modelos de duración: Una revisión de la literatura*. <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/5601>

Ceballos, A., Dresdner-Cid, J. D., & Quiroga-Suazo, M. Á. (2018). Does the location of salmon farms contribute to the reduction of poverty in remote coastal areas? An impact assessment using a Chilean case study. *Food Policy*, 75, 68-79. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2018.01.009>

Chávez, C., Dresdner, J., Figueroa, Y., & Quiroga, M. (2019). Main issues and challenges for sustainable development of salmon farming in Chile: A socio-economic perspective. *Reviews in Aquaculture*, 11(2), 403-421. <https://doi.org/10.1111/raq.12338>

Chu, J., Anderson, J. L., Asche, F., & Tudur, L. (2010). Stakeholders' Perceptions of Aquaculture and Implications for its Future: A Comparison of the U.S.A. and Norway. *Marine Resource Economics*, 25(1), 61-76. <https://doi.org/10.5950/0738-1360-25.1.61>

Cid Aguayo, B. E., Parra, J., & Barriga, M. (2017). Gobernanzas e invisibilidades: Intereses y racionalidades en la regulación socioambiental de la salmónicultura en Chile. *Ambiente & Sociedad*, 20(2), 105-120.

Cottet, L., Martin, M. C.-S., Tello, M., Olivares, E., Rivas-Aravena, A., Vallejos, E., Sandino, A. M., & Spencer, E. (2010). Bioinformatic Analysis of the Genome of Infectious Salmon Anemia Virus Associated with Outbreaks with High Mortality in Chile. *Journal of Virology*, 84(22), 11916-11928. <https://doi.org/10.1128/JVI.01202-10>

Delghandi, M. R., El-Matbouli, M., & Menanteau-Ledouble, S. (2020). *Renibacterium salmoninarum*—The Causative Agent of Bacterial Kidney Disease in Salmonid Fish. *Pathogens*, 9(10), Art. 10. <https://doi.org/10.3390/pathogens9100845>

Dresdner, J. (2003). *Apuntes de microeconomía. Parte 2: Variable dependiente discreta y limitada*.

Dresdner, J., Chávez, C., Estay, M., González, N., Salazar, C., Santis, O., Figueroa, Y., Lafon, A., Luengo, C., & Quezada, F. (2016). *Evaluación socioeconómica del sector salmonicultor, en base a las nuevas exigencias de la Ley General de Pesca y Acuicultura. Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura* (Proyecto FIPA 2015-42 N.º 42; Informe Final, p. 436). Consejo del Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura. <http://www.subpesca.cl/fipa/613/w3-article-92098.html>

Dresdner, J., Chávez, C., Quiroga, M., Jiménez, D., Artacho, P., & Tello, A. (2019). Impact of *Caligus* treatments on unit costs of heterogeneous salmon farms in Chile. *Aquaculture Economics & Management*, 23(1), 1-27. <https://doi.org/10.1080/13657305.2018.1449271>

Dresdner, J., & Estay, M. (2016). Biosecurity Versus Profits: A Multiobjective Model for the Aquaculture Industry. *Journal of the World Aquaculture Society*, 47(1), 61-73. <https://doi.org/10.1111/jwas.12256>

Elgueta, E. (2018, octubre 8). La guerra del salmón: Industria dividida se enfrenta al Gobierno por reglamento que limita producción. *El Mostrador*. <https://www.elmostrador.cl/mercados/2018/10/08/la-guerra-del-salmon-industria-dividida-se-enfrenta-al-gobierno-por-reglamento-que-limita-produccion/>

Estay, M., & Chávez, C. (2015). Location decisions and regulatory changes: The case of the Chilean aquaculture. *Latin american journal of aquatic research*, 43(4), 700-717. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3856/vol43-issue4-fulltext-9>

FAO. (2012). *El Estado mundial de la pesca y la acuicultura 2012*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://www.fao.org/3/i2727s/i2727s.pdf>

FAO. (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura: Cumplir los objetivos de ... Desarrollo sostenible 2018*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://doi.org/10.4060/ca9705es>

FAO. (2020). *Fishery and Aquaculture Statistics Fishery Statistics Aquaculture production* (p. 256). <https://www.jstor.org/stable/1523706?origin=crossref>

Flores-Kossack, C., Montero, R., Köllner, B., & Maisey, K. (2020). Chilean aquaculture and the new challenges: Pathogens, immune response, vaccination and fish diversification. *Fish & Shellfish Immunology*, 98, 52-67. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.fsi.2019.12.093>

Fuentes Olmos, J. (2014). Evolución del régimen ambiental de la acuicultura en Chile. *Revista de derecho (Valparaíso)*, 42, 441-477. <https://doi.org/10.4067/S0718-68512014000100013>

Gallardo-Escárate, C., Arriagada, G., Carrera, C., Gonçalves, A. T., Nuñez-Acuña, G., Valenzuela-Miranda, D., & Valenzuela-Muñoz, V. (2019). The race between host and sea lice in the Chilean salmon farming: A genomic approach. *Reviews in Aquaculture*, 11(2), 325-339. <https://doi.org/10.1111/raq.12334>

Happold, J., Meyer, A., Sadler, R., Cowled, B., Mackenzie, C., Stevenson, M., Ward, M. P., Gallardo Lagno, A. L., & Cameron, A. (2020). Effectiveness of antimicrobial treatment of salmonid rickettsial septicaemia in commercial salmon and trout farms in Chile. *Aquaculture*, 525, 735323. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735323>

Ibieta, P., Tapia, V., Venegas, C., Hausdorf, M., & Takle, H. (2011). *Chilean Salmon Farming on the Horizon of Sustainability: Review of the Development of a Highly Intensive Production, the ISA Crisis and Implemented Actions to Reconstruct a More Sustainable Aquaculture Industry*. <https://doi.org/10.5772/30678>

Iizuka, M., & Katz, J. (2017). Natural Resource Industries, ‘Tragedy of the Commons’ and the Case of Chilean Salmon Farming. *Institutions and Economies*, 3(2), 259-286.

Iizuka, M., & Zanolungo, J. P. (2016). Environmental Collapse and Institutional Restructuring: The Sanitary Crisis in the Chilean Salmon Industry. En A. Hosono, M. Iizuka, & J. Katz (Eds.), *Chile’s Salmon Industry: Policy Challenges in Managing Public Goods* (pp. 109-135). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-4-431-55766-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-4-431-55766-1_5)

Iversen, A., Asche, F., Hermansen, Ø., & Nystøyl, R. (2020). Production cost and competitiveness in major salmon farming countries 2003–2018. *Aquaculture*, 522, 735089. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735089>

Johansson, L.-H., Timmerhaus, G., Afanasyev, S., Jørgensen, S. M., & Krasnov, A. (2016). Smoltification and seawater transfer of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) is associated with systemic repression of the immune transcriptome. *Fish & Shellfish Immunology*, 58, 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.09.026>

Kibenge, F. S. B., Godoy, M. G., Fast, M., Workenhe, S., & Kibenge, M. J. T. (2012). Countermeasures against viral diseases of farmed fish. *Antiviral Research*, 95(3), 257-281. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2012.06.003>

Kumar, G., & Engle, C. R. (2016). Technological Advances that Led to Growth of Shrimp, Salmon, and Tilapia Farming. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 24(2), 136-152. <https://doi.org/10.1080/23308249.2015.1112357>

Little, C., Felzensztein, C., Gimmon, E., & Muñoz, P. (2015). The business management of the Chilean salmon farming industry. *Marine Policy*, 54, 108-117. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2014.12.020>

Luthman, O., Jonell, M., & Troell, M. (2019). Governing the salmon farming industry: Comparison between national regulations and the ASC salmon standard. *Marine Policy*, *106*, 103534. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103534>

Mardones, J. I., Paredes, J., Godoy, M., Suarez, R., Norambuena, L., Vargas, V., Fuenzalida, G., Pinilla, E., Artal, O., Rojas, X., Dorantes-Aranda, J. J., Lee Chang, K. J., Anderson, D. M., & Hallegraeff, G. M. (2021). Disentangling the environmental processes responsible for the world's largest farmed fish-killing harmful algal bloom: Chile, 2016. *Science of The Total Environment*, *766*, 144383. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144383>

McDaniels, T. L., Dowlatabadi, H., & Stevens, S. (2005). Multiple scales and regulatory gaps in environmental change: The case of salmon aquaculture. *Global Environmental Change*, *15*(1), 9-21. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.12.007>

McFadden, D. (1974). The measurement of urban travel demand. *Journal of Public Economics*, *3*(4), 303-328. [https://doi.org/10.1016/0047-2727\(74\)90003-6](https://doi.org/10.1016/0047-2727(74)90003-6)

McFadden, D. (2000). Disaggregate Behavioral Travel Demand's RUM Side—A 30-Year Retrospective. *Travel behaviour research*, 17-63.

Ministerio de Defensa Nacional de Chile. (2017). *Libro de la Defensa Nacional de Chile*. <https://www.defensa.cl/media/LibroDefensa.pdf>

Ley 19079 Introduce Modificaciones a la Ley N° 18.892, General de Pesca y Acuicultura, Pub. L. No. 19079, 29 (1991). <https://bcn.cl/2gdvc>

Ley General de Pesca y Acuicultura, Pub. L. No. 18892 (1989). <http://bcn.cl/2g75m>

Resolución Exenta N.° 3612 Aprueba resolución que fija las metodologías para elaborar la caracterización preliminar de sitio (CPS) y la información ambiental (INFA), (2009). <http://bcn.cl/2f86m>

Decreto N.º 320 Reglamento ambiental para la Acuicultura, Pub. L. No. 320 (2001).  
<https://bcn.cl/3c2s5>

Decreto N.º 319 Aprueba reglamento de medidas de protección, control y erradicación de enfermedades de alto riesgo para las especies hidrobiológicas. Deroga Decreto N°162, de 1985., 319 Decreto (2002). <http://bcn.cl/2lz7u>

Montero, C. (2004). *Formación y desarrollo de un cluster globalizado: El caso de la industria del salmón en Chile*. CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/4538>

Morton, A., & Routledge, R. (2016). Risk and precaution: Salmon farming. *Marine Policy*, 74, 205-212. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.09.022>

Mustafa, A., Rankaduwa, W., & Campbell, P. (2001). Estimating the cost of sea lice to salmon aquaculture in eastern Canada. *The Canadian Veterinary Journal*, 42(1), 54-56.

OCEANA. (2020). *Uso de Antibióticos en la Salmonicultura Chilena en 2018* (p. 33). <https://chile.oceana.org/publicaciones/informes/uso-de-antibioticos-en-la-salmonicultura-chilena-en-2018>

Olaussen, J. O. (2018). Environmental problems and regulation in the aquaculture industry. Insights from Norway. *Marine Policy*, 98, 158-163. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.08.005>

Osmundsen, T. C., Olsen, M. S., & Thorvaldsen, T. (2020). The making of a louse—Constructing governmental technology for sustainable aquaculture. *Environmental Science & Policy*, 104, 121-128. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.12.002>

Outeiro, L., Villasante, S., & Oyarzo, H. (2018). The interplay between fish farming and nature based recreation-tourism in Southern Chile: A perception approach. *Ecosystem Services*, 32, 90-100. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.05.006>

Pietrobelli, C., & Rabellotti, R. (2010). *Upgrading to Compete Global Value Chains, Clusters, and SMEs in Latin America: The Salmon Farming and Processing Cluster in Southern Chile* (C. Pietrobelli, & R. Rabellotti, Eds.). Harvard University Press. <https://papers.ssrn.com/abstract=1551498>

Pincinato, R. B. M., Asche, F., Bleie, H., Skrudland, A., & Stormoen, M. (2021). Factors influencing production loss in salmonid farming. *Aquaculture*, 532, 736034. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736034>

Poblete, E. G., Drakeford, B. M., Ferreira, F. H., Barraza, M. G., & Failler, P. (2019). The impact of trade and markets on Chilean Atlantic salmon farming. *Aquaculture International*, 27(5), 1465-1483. <https://doi.org/10.1007/s10499-019-00400-7>

Pontigo, J. P., Espinoza, C., Hernandez, M., Nourdin, G., Oliver, C., Avendaño-Herrera, R., Figueroa, J., Rauch, C., Troncoso, J. M., Vargas-Chacoff, L., & Yáñez, A. J. (2021). Protein-Based Vaccine Protect Against *Piscirickettsia salmonis* in Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Frontiers in Immunology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.602689>

Quezada, F., & Dresdner, J. (2017). What can we learn from a sanitary crisis? The ISA virus and market prices. *Aquaculture Economics & Management*, 21(2), 211-240. <https://doi.org/10.1080/13657305.2016.1189011>

Quiñones, R. A., Fuentes, M., Montes, R. M., Soto, D., & León-Muñoz, J. (2019). Environmental issues in Chilean salmon farming: A review. *Reviews in Aquaculture*, 11(2), 375-402. <https://doi.org/10.1111/raq.12337>

Ríos, S. (2003). *Impactos ambientales de la salmonicultura en la región de Los Lagos* (Taller de Desarrollo Sustentable. Magíster en Ciencias Sociales). Eumed.

[https://www.researchgate.net/publication/303985353\\_Impactos\\_ambientales\\_de\\_la\\_salmonicultura\\_en\\_la\\_Region\\_de\\_Los\\_Lagos](https://www.researchgate.net/publication/303985353_Impactos_ambientales_de_la_salmonicultura_en_la_Region_de_Los_Lagos)

Rocha Aponte, F., & Tveterås, S. (2019). On the drivers of cost changes in the Norwegian salmon aquaculture sector: A decomposition of a flexible cost function from 2001 to 2014. *Aquaculture Economics & Management*, 23(3), 276-291. <https://doi.org/10.1080/13657305.2018.1551438>

Rodríguez, I. R., & Martínez, P. S. (2019). Diversificación productiva y especializaciones sectoriales en Chile. *Cuadernos de trabajo de estudios regionales en economía, población y desarrollo*, 50, 45.

Román, Á., Barton, J. R., Bustos Gallardo, B., & Salazar, A. (2015). *Revolución salmonera: Paradojas y transformaciones territoriales en Chiloé*. RIL editores.

Salmon Chile. (2022). Exportación de Salmón desde Chile al Mundo | Salmonchile. *Salmón Chile*. <https://www.salmonchile.cl/exportaciones-salmonchile/>

Sandersen, H. T., & Kvalvik, I. (2014). Sustainable Governance of Norwegian Aquaculture and the Administrative Reform: Dilemmas and Challenges. *Coastal Management*, 42(5), 447-463. <https://doi.org/10.1080/08920753.2014.942028>

Sepúlveda, M., Arismendi, I., Soto, D., Jara, F., & Farias, F. (2013). Escaped farmed salmon and trout in Chile: Incidence, impacts, and the need for an ecosystem view. *Aquaculture Environment Interactions*, 4(3), 273-283. <https://doi.org/10.3354/aei00089>

SERNAPESCA. (2020). *Informe sobre uso de antimicrobianos en la salmonicultura nacional año 2019* (p. 11). SERNAPESCA. [http://www.sernapesca.cl/sites/default/files/informe\\_atb\\_2019.pdf](http://www.sernapesca.cl/sites/default/files/informe_atb_2019.pdf)

SERNAPESCA. (2022). *Anuarios Estadísticos de Pesca y Acuicultura / Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura*. Anuarios Estadísticos de Pesca y Acuicultura. <http://www.sernapesca.cl/informacion-utilidad/anuarios-estadisticos-de-pesca-y-acuicultura>

Shamshak, G. L., Anderson, J. L., Asche, F., Garlock, T., & Love, D. C. (2019). U.S. seafood consumption. *Journal of the World Aquaculture Society*, 50(4), 715-727. <https://doi.org/10.1111/jwas.12619>

Silva, H., & Soto, R. (2022). *Externalidades y Regulación de la Industria del Salmón en Chile y el resto del mundo* (p. 115). Pontificia Universidad Católica de Chile. <https://www.consejodelsalmon.cl/wp-content/uploads/2022/07/Estudio-PUC-Informe-Final-Julio-2022.pdf>

Soto, D., Arismendi, I., Olivos, J. A., Canales-Aguirre, C. B., Leon-Muñoz, J., Niklitschek, E. J., Sepúlveda, M., Paredes, F., Gomez-Uchida, D., & Soria-Galvarro, Y. (2022). Environmental risk assessment of non-native salmonid escapes from net pens in the Chilean Patagonia. *Reviews in Aquaculture*, 15(1), 198-219. <https://doi.org/10.1111/raq.12711>

Soto, D., León-Muñoz, J., Soria-Galvarro, Y., Quiñones, R., & Marin, S. (2020). *Propuesta de evaluación del desempeño ambiental de la salmonicultura Chilena a escala de ecosistemas* [Informe Científico]. Centro Interdisciplinario para la Investigación Acuícola (INCAR) y WWF Chile. <https://centroincar.cl/wp-content/uploads/2021/07/Propuesta-de-evaluacion-del-desempeno-ambiental-de-la-salmonicultura-Chilena-a-escala-de-ecosistemas.pdf>

Resolución Exenta. N.º 1449 Establece Medidas de Manejo Sanitario por Área, 1449 (2009). <http://www.sernapesca.cl/sites/default/files/1449.pdf>

SUBPESCA. (2012). *Propuesta reglamento densidades, score de riesgo y plan de manejo*. [https://www.subpesca.cl/portal/616/articles-5121\\_documento.pdf](https://www.subpesca.cl/portal/616/articles-5121_documento.pdf)

Resolución Exenta N.º 1741 Establece Clasificación de enfermedades de alto riesgo, 1741 4 (2013). [https://www.subpesca.cl/portal/615/articles-80703\\_documento.pdf](https://www.subpesca.cl/portal/615/articles-80703_documento.pdf)

Resolución Exenta N.º 2713-2013 Modifica Resolución N.º 1503-2013 establece profundidad estimada de redes peceras y peso de cosecha de los ejemplares. (F.D.O. 16-10-2013), (2013). <https://www.subpesca.cl/portal/615/w3-article-81470.html>

SUBPESCA. (2020). *Informes acuicultura*. SUBPESCA Publicaciones y Estudios. <https://www.subpesca.cl/portal/618/w3-propertyvalue-790.html>

Taranger, G. L., Karlsen, Ø., Bannister, R. J., Glover, K. A., Husa, V., Karlsbakk, E., Kvamme, B. O., Boxaspen, K. K., Bjørn, P. A., Finstad, B., Madhun, A. S., Morton, H. C., & Svåsand, T. (2015). Risk assessment of the environmental impact of Norwegian Atlantic salmon farming. *ICES Journal of Marine Science*, 72(3), 997-1021. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu132>

Urbina, M. A. (2016). Temporal variation on environmental variables and pollution indicators in marine sediments under sea Salmon farming cages in protected and exposed zones in the Chilean inland Southern Sea. *Science of The Total Environment*, 573, 841-853. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.166>

van Senten, J., & Engle, C. R. (2017). The costs of regulations on US baitfish and Sportfish producers: Regulatory costs on US baifish and sporfihs. *Journal of the World Aquaculture Society*, 48(3), 503-517. <https://doi.org/10.1111/jwas.12416>

Vera, H. (2010). *La crisis del salmón: ¿ Por qué falló el tercer motor de la economía chilena?* Ril editores. <https://rileditores.com/tienda/la-crisis-del-salmon-por-que-fallo-el-tercer-motor-de-la-economia-chilena/>

Vike, S., Nylund, S., & Nylund, A. (2009). ISA virus in Chile: Evidence of vertical transmission. *Archives of Virology*, *154*(1), 1-8. <https://doi.org/10.1007/s00705-008-0251-2>

Vormedal, I. (2017). Corporate Strategies in Environmental Governance: Marine harvest and regulatory change for sustainable aquaculture: Marine Harvest and Regulatory Change for Sustainable Aquaculture. *Environmental Policy and Governance*, *27*(1), 45-58. <https://doi.org/10.1002/eet.1732>

Vormedal, I., & Skjærseth, J. B. (2020). The good, the bad, or the ugly? Corporate strategies, size, and environmental regulation in the fish-farming industry. *Business and Politics*, *22*(3), 510-538. <https://doi.org/10.1017/bap.2019.30>

Wang, H., Guangce, W., & Gu, W. (2020). Macroalgal blooms caused by marine nutrient changes resulting from human activities. *Journal of Applied Ecology*, *57*(4), 766-776. <https://doi.org/doi.org/10.1111/1365-2664.13587>

## Glosario

<p style="text-align: center;"><b>A</b></p> <p>ACS</p> <p>Agrupación de Concesiones de Salmónidos, hace referencia al conjunto de concesiones de acuicultura que se encuentran dentro de una área apta para la acuicultura.. 15</p> <p>aeróbica</p> <p>condición que indica la presencia de oxígeno disuelto .....39</p> <p>alevines</p> <p>Cría de pez. ....21</p> <p style="text-align: center;"><b>D</b></p> <p>Densidad de cultivo</p> <p>De acuerdo con Art. 86 bis inc. 6 de LGPA, es la biomasa de peces existente por área utilizada con estructuras de cultivo, al término de la etapa de engorda del ciclo productivo. ....14</p> <p>Descanso sanitario coordinado</p> <p>Descanso sanitario coordinado</p>	<p>Consiste en un periodo de tiempo durante el cual los centros de cultivo integrantes de la agrupación respectiva, deberán cesar sus operaciones y retirar la totalidad de ejemplares del centro, quedando prohibido el ingreso y mantención de especies hidrobiológicas. .... 38</p> <p style="text-align: center;"><b>G</b></p> <p>gametos</p> <p>Cada una de las células sexuales, masculina y femenina, que al unirse forman el huevo de las plantas y de los animales. ....20</p> <p style="text-align: center;"><b>I</b></p> <p>INFA</p> <p>INFA</p> <p>Información ambiental de conformidad con el reglamento ambiental para la acuicultura, establecido por D.S. N° 320 de 2001, del Ministerio de</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Economía, Fomento y Reconstrucción.

..... 37

## **L**

### Lista 2

Hace referencia al listado de enfermedades de alto riesgo sanitario para las especies hidrobiológicas publicado por el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura de Chile.

.....34

## **P**

### período productivo

#### Periodo Productivo

Período de tiempo comprendido entre la fecha de término de un descanso sanitario coordinado XE "Descanso sanitario coordinado: Descanso sanitario coordinado: Consiste en un periodo de tiempo durante el cual los centros de cultivo integrantes de la agrupación respectiva, deberán cesar sus operaciones y retirar la totalidad

de ejemplares del centro, quedando prohibido el ingreso y mantención de especies hidrobiológicas." y el inicio del siguiente descanso sanitario coordinado de una agrupación de concesiones..... 38

## PPJT

Hace referencia al promedio porcentual de jaulas tratadas para el control de la caligidosis..... 43

## **R**

### RCA

Resolución de Calificación Ambiental. Es el permiso ambiental otorgado una vez finalice el proceso de evaluación del Estudio de Impacto Ambiental. .... 39

## **S**

### Sernapesca

Es una entidad gubernamental chilena encargada de la fiscalización y la gestión sanitaria para la pesca y la acuicultura.22

## Apéndices

### Apéndice 1. Resultado del test de Hausman

Variable	Efectos fijos	Efectos aleatorios	Diferencia	Error Estándar
$BiosACS_{it}^1$	-0,86	-0,01	-0,85	5,47E+07
$ Holding\_Tamaño_{it}$	-3,46	0,00	-3,46	6,76 E+08

Fuente: Elaboración propia

Test: Ho: diferencia en coeficientes no sistemática

Prob>chi2 1,00

**Apéndice 2. Resultado del test de Multicolinealidad**

<b>Variables</b>	PRS	$Sp_{it}$	$SpAnterior_i$	$Densidad\_Centro_{it}$	$BiosACS_{it}^1$	$PuntajeInfa_{it}$	$PérdidaTotalACS$	$PuntajeBios_{it}$	$N\_centrosACS$	$Holdig\_Tamaño$	Año	Región
PRS	1											
$Sp_{it}$	-0,15	1,00										
$SpAnterior_{it}^1$	-0,36	0,24	1,00									
$Densidad\_Centr_{it}$	0,52	0,41	-0,36	1,00								
$BiosACS_{it}^1$	-0,02	0,06	-0,06	-0,08	1,00							
$PuntajeInfa_{it}$	0,24	0,17	-0,09	0,05	-0,36	1,00						
$PérdidaTotalAC_{it}$	-0,23	0,09	-0,02	0,18	-0,15	0,03	1,00					
$PuntajeBios_{it}$	-0,15	0,17	0,12	0,00	0,33	-0,37	-0,04	1,00				
$N\_centrosACS$	0,14	0,21	0,00	-0,07	-0,02	0,18	-0,18	0,31	1,00			
$Holdig\_Tamañ_{it}$	0,02	0,02	0,02	-0,05	0,06	-0,10	-0,09	0,18	0,15	1,00		
Año	0,28	0,02	-0,28	0,06	0,04	0,16	-0,33	-0,05	0,24	0,10	1,00	
Región	0,23	0,36	-0,03	0,04	-0,12	0,46	0,06	-0,28	0,35	-0,03	0,01	1,00