



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
MAGÍSTER EN ECONOMÍA APLICADA

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA HETEROGENEIDAD EN LA ESPECIE PRODUCIDA SOBRE EL USO DE LICENCIAS EN LA SALMONICULTURA CHILENA

Estudiante: Bryan Cifuentes Henríquez

Profesor Guía: Manuel Estay Montecinos

Agradecimientos

Bryan Cifuentes Henríquez agradece el apoyo financiero para el desarrollo de esta tesis, proveniente del proyecto ANID/CONICYT FONDECYT Iniciación N.º 11230885. También agradece el apoyo y financiamiento parcial de ANID INCAR2 CIA250009.

Resumen

Esta tesis evalúa empíricamente el efecto de la especie de salmónido producida en las proximidades sobre la decisión de uso de licencias en la acuicultura del salmón en Chile para el periodo 2015-2023. Esta decisión suele ser tomada por cada empresa considerando factores económicos y ambientales. Para reducir los costos de transporte, una empresa puede preferir usar una licencia en ubicaciones con fácil acceso a zonas urbanas o mercados, donde se concentran los proveedores de insumos o las plantas procesadoras. Sin embargo, estas ubicaciones también son atractivas para otras empresas, lo que puede generar congestión y propiciar la propagación de enfermedades y la degradación ambiental. Así, las empresas podrían preferir usar licencias lejos de las ubicaciones más accesibles con el fin de mejorar las condiciones ambientales. En este contexto, las licencias también permiten producir distintas especies de salmónidos, las cuales pueden responder de manera diferenciada a estos factores. Por lo tanto, evaluar si la especie que se produce en las proximidades afecta la decisión de uso de licencias es una cuestión empírica abierta. Para abordarla y capturar el comportamiento estratégico subyacente en estas decisiones, se estima un modelo estructural endógeno de entrada, ubicación y elección de producto, mediante el cual las empresas deciden simultáneamente si entrar o no en una región para usar licencias en una agrupación de concesiones de salmónidos y producir una especie determinada. Los resultados de la estimación muestran que la especie de salmónido que se produce en las proximidades es un determinante de la decisión de uso de licencias y proporcionan evidencia empírica relevante para el diseño de políticas heterogéneas de gestión espacial en función de los incentivos productivos existentes.

1. Introducción

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la acuicultura es el sector alimentario de más rápido crecimiento desde los años setenta, representando cerca del 50% del suministro mundial de productos del mar en 2022 (FAO, 2024).

La producción acuícola contribuye significativamente al sistema alimentario mundial (Garlock, et al., 2020), mientras que en muchos países hace una contribución relevante a la seguridad alimentaria (Belton, et al., 2018). Además, crea empleos directos e indirectos, generando ingresos e incidiendo en la reducción de la pobreza (Phillips, et al., 2016).

No obstante, dado que el sector se relaciona estrechamente con el ecosistema circundante, su acelerada expansión también puede generar externalidades negativas en el ambiente (Asche, et al., 2022), las cuales, según sus áreas de impacto, se pueden clasificar en escape de peces, deterioro de la calidad del agua y transmisión de enfermedades e infecciones (Estay & Chávez, 2015). En general, los reguladores pueden abordar este tipo de externalidades mediante la gestión espacial (Asche, et al., 2022).

Chile, uno de los diez principales productores acuícolas del mundo, no está exento de los impactos de la acuicultura. En concreto, el país es el segundo mayor productor mundial de salmónidos y lidera su producción en América Latina y el Caribe. En este contexto, la acuicultura del salmón en Chile ha experimentado un crecimiento acelerado desde finales de los años setenta y comienzos de los años ochenta, consolidándose progresivamente como una industria competitiva, moderna y orientada a las exportaciones (FAO, 2024).

Por un lado, el crecimiento de la industria ha generado diversos impactos socioeconómicos, tales como la creación de empleos con remuneraciones relativamente altas, una reducción de la pobreza, una distribución más equitativa del ingreso, una mayor participación de las mujeres en el mercado laboral y mayores niveles de educación (Cárdenas-Retamal, et al., 2021; Ceballos-Concha, et al., 2018; Ceballos-Concha, et al., 2025).

Por otro lado, esta expansión ha provocado que la industria enfrente impactos productivos potencialmente vinculados con estrategias productivas y fitosanitarias no óptimas. Uno de estos casos fue el brote de anemia infecciosa del salmón (ISA, por sus siglas en inglés), que redujo en más del 60% la producción de la salmonicultura chilena durante el periodo 2008-2010 (Fischer, et al., 2017). En otra escala, las alteraciones en los medios de cultivo impulsadas por el cambio climático también han generado pérdidas significativas de biomasa en producción. Un ejemplo de ello fue la floración algal nociva de *Pseudochattonella* cf. *verruculosa*, que en 2016 mató alrededor del 20% de la producción de salmón cultivado en Chile (Díaz-Tapia, et al., 2019).

La crisis del virus ISA supuso un importante desafío para la institucionalidad ambiental (Bustos, 2012). Una de las respuestas fue gestionar el uso del espacio mediante la zonificación, delimitando áreas apropiadas y no apropiadas para la producción acuícola. En línea con lo anterior, la zonificación es consistente con la separación de Chile en macrozonas y agrupaciones de concesiones de salmónidos (ACS). Cada macrozona está compuesta por dos o más ACS y, en lo posible, debe contar con un sistema de transporte

independiente del tránsito por otras macrozonas. Estas unidades fueron creadas como un instrumento de contención de enfermedades, lo cual implica restricciones de transporte ante emergencias sanitarias. A su vez, cada ACS pertenece a una macrozona y está conformada por un conjunto de concesiones de acuicultura. La creación de estas agrupaciones tiene como principal propósito coordinar las medidas sanitarias entre los centros de producción, por ejemplo, mediante la sincronización de los periodos de descanso sanitario.

Si bien las macrozonas y las ACS establecen el marco espacial en el que se desarrolla la producción salmonera, las empresas concretan sus decisiones de ubicación a través del uso de licencias de acuicultura. Una licencia permite a una empresa producir una o más especies de salmónidos en una ubicación específica. El proceso de otorgamiento se inicia con la presentación de una solicitud, la cual debe proporcionar detalles sobre la ubicación, las especies a producir y las características técnicas del centro de producción, tales como el número y el tamaño de las jaulas. La solicitud es aprobada o rechazada después de pasar por diversas instancias de evaluación a cargo de organismos del Estado. Si es aprobada, la empresa puede usar la licencia para instalar y operar un centro de producción de las especies autorizadas, en la ubicación establecida y bajo las condiciones en que fue otorgada (Chile, 1992; Chile, 1993).

Por lo tanto, la decisión de uso de licencias es especialmente relevante, dado que determina la distribución espacial de la producción dentro de las ACS y, con ello, sus implicancias económicas y ambientales. Así, esta decisión se encuentra estrechamente relacionada con la maximización de los beneficios de la operación. En este sentido, las empresas podrían usar licencias cerca de otras empresas, atraídas por la generación de economías de escala y encadenamientos productivos (Perlman & Juárez-Rubio, 2010). Sin embargo, también podrían usar licencias lejos de otras empresas, motivadas por la reducción de la sensibilidad a factores locales de riesgo, tales como los brotes de enfermedades (Oglend & Tveteras, 2009).

Estay (2021), por medio de un modelo estructural de decisiones endógenas para capturar el comportamiento estratégico que subyace al uso de licencias, evidencia que en la acuicultura del salmón en Chile las empresas presentan incentivos para usar licencias lejos de otras empresas, infiriendo que esto se debe a que el efecto adverso de las externalidades negativas domina al efecto positivo de las economías de escala externas. Para ello, el autor considera que las especies de salmónidos producidas son homogéneas.

No obstante, este supuesto omite potenciales diferencias en los incentivos productivos asociados a cada especie.

Las licencias no solo establecen una ubicación específica para la producción, sino que también definen las especies de salmónidos sobre las cuales las empresas pueden operar (Chile, 1992; Chile, 1993). En este contexto, existen tres especies exóticas predominantes: salmón del Atlántico, salmón coho y trucha arcoíris. Así, en una ACS se pueden producir una o más de estas especies, las cuales pueden responder de manera diferenciada a los factores que determinan los beneficios de la operación. Esto es, la especie producida en las proximidades podría ser un determinante de la operación de los centros de producción y, por ende, de la decisión de uso de licencias. Por lo tanto, evaluar si la especie producida en las proximidades afecta esta decisión es una extensión natural de la literatura existente y, según nuestro conocimiento, una cuestión empírica que aún no ha sido abordada. Estos factores diferenciales entre especies de salmónidos pueden agruparse en dos dimensiones: condiciones de mercado y condiciones de producción.

Las condiciones de mercado, teniendo presente que la acuicultura del salmón en Chile está enfocada sustancialmente en las exportaciones, aluden a diferencias respecto del mercado de exportación objetivo de cada especie de salmónido. Landazuri-Tveteraas, et al. (2021) señalan que el salmón del Atlántico es demandado principalmente por el segmento que suele ser más rentable para cada especie, es decir, el segmento de mercado con preferencias por el pescado fresco, tal como el estadounidense. Esto se debe a que el salmón del Atlántico crece de manera más uniforme a lo largo del año en comparación con otros tipos de salmónidos, pudiendo ser cosechado rentablemente durante todo el periodo (Asche & Bjørndal, 2011). En cambio, el salmón coho y la trucha arcoíris son demandados primordialmente por el segmento de mercado con preferencias por el pescado congelado, tal como el japonés, lo cual se relaciona con un crecimiento biológico más fuerte en relación con otros tipos de salmónidos, solándose cosechar y congelar al final de su ciclo productivo (Landazuri-Tveteraas, et al., 2021). Adicionalmente, el mercado japonés tiene preferencias por las especies de salmónidos con un color de carne más rojo, dadas sus semejanzas con los salmones salvajes del Pacífico que dominaban este mercado (Tveteras & Asche, 2008).

Las condiciones de producción contemplan las diferencias entre las especies de salmónidos en términos de su susceptibilidad a enfermedades, las cuales pueden reducir significativamente su valor de mercado (Abolofia, et al., 2017). A modo de ilustración, los piojos de mar, incluidos *Caligus rogercresseyi* y *Lepeophtheirus salmonis*, son los parásitos

más dañinos para la acuicultura del salmón en el mundo. En este sentido, el parasitismo asociado a estos ectoparásitos representa uno de los principales problemas económicos, ambientales y de bienestar animal que enfrenta la producción de salmón del Atlántico (Salisbury, et al., 2024). Los piojos de mar se alimentan de la epidermis y de las aletas de esta especie, provocando lesiones crónicas abiertas que favorecen la aparición de infecciones secundarias (Carvalho, et al., 2020). Asimismo, el salmón del Atlántico presenta una respuesta inflamatoria ineficaz, caracterizada por una inflamación limitada y una degradación rápida de la epidermis (Johnson & Albright, 1992). La trucha arcoíris también es altamente vulnerable a la infestación por piojos de mar, mostrando similitudes genómicas con el salmón del Atlántico en cuanto a resistencia (Cáceres, et al., 2021). Por el contrario, el salmón coho exhibe mecanismos innatos de defensa que facilitan el desprendimiento de estos ectoparásitos. Esta especie de salmónido desarrolla un engrosamiento cutáneo y una respuesta inflamatoria dentro de las 24 horas posteriores a la adhesión parasitaria, lo que conduce a la expulsión de cerca del 90% de los piojos de mar entre una y dos semanas después de la exposición (Salisbury, et al., 2024).

De acuerdo con lo anterior, la decisión de uso de licencias podría depender tanto de las condiciones de mercado como de las condiciones de producción, de modo que las empresas podrían no ser indiferentes respecto de la especie de salmónido que se produce en las proximidades. En esta línea, la presencia de distintas especies en las proximidades podría afectar de manera heterogénea esta decisión, generando incentivos productivos diferenciados según especie. Por ejemplo, las empresas podrían presentar incentivos para usar licencias más cerca de una especie particular de salmónido, porque apuntan al mismo mercado de exportación objetivo, lo cual podría reducir los costos de logística, distribución y comercialización del producto mediante mecanismos de coordinación. De igual manera, las empresas podrían optar por esta cercanía si la presencia de determinadas especies favorece la diversificación del riesgo sanitario.

Esta posible heterogeneidad adquiere particular importancia, ya que en las ACS se pueden producir distintas especies de salmónidos, por lo que la política de gestión espacial debería reconocer que sus efectos sobre la decisión de uso de licencias podrían no ser homogéneos, sino depender de la especie producida en las proximidades. Incorporar esta heterogeneidad podría contribuir a internalizar las externalidades asociadas a la proximidad entre empresas, favoreciendo así una asignación de las licencias operativas más eficiente y consistente con los costos y beneficios sociales derivados de su ubicación. Así, se podría

justificar el diseño de políticas heterogéneas de gestión espacial que consideren la composición productiva de las ACS al definir la distribución de las licencias operativas. Ahora bien, si la especie de salmónido que se produce en las proximidades no es un determinante de la decisión empresarial de uso de licencias, esta tesis proporcionaría una extensión heterogénea del modelo estructural de decisiones endógenas de Estay (2021), que podría, a su vez, ser aplicada en la acuicultura del salmón en otros países, así como en otras industrias caracterizadas por interacciones estratégicas espaciales.

1.1 Pregunta, objetivo e hipótesis de investigación

Lo expuesto conduce a la pregunta de investigación: ¿la decisión de uso de licencias en la acuicultura del salmón en Chile está determinada por la especie de salmónido producida en las proximidades? Para responder esta pregunta, se emplea un enfoque empírico basado en modelos estructurales que capturan el comportamiento estratégico que subyace a las decisiones de los agentes económicos. En este sentido, el objetivo de la investigación es evaluar empíricamente el efecto de la producción de cada especie de salmónido en las proximidades sobre el uso de licencias, por medio de modelos estructurales endógenos. De este modo, los coeficientes estructurales estimados permiten contrastar explícitamente la siguiente hipótesis nula: la probabilidad de uso de licencias es independiente de la especie de salmónido producida en las proximidades.

2. Revisión de literatura

La presente tesis pretende responder la pregunta de investigación mediante la estimación de modelos estructurales endógenos de organización industrial, los cuales permiten representar las decisiones de entrada a mercados por parte de las empresas, así como sus decisiones de ubicación y de elección de producto. La estimación de este tipo de modelos ofrece dos ventajas clave en comparación con los enfoques tradicionales. Primero, proporciona un mecanismo de corrección para la endogeneidad asociada al comportamiento estratégico de los agentes económicos. Segundo, y más relevante aún, permite estimar coeficientes estructurales para evaluar explícitamente cómo las decisiones de unos agentes económicos afectan las de otros. Cabe señalar que esta literatura se ha desarrollado principalmente en la industria del retail, ámbito en el que Aguirregabiria & Suzuki (2016) realizan una revisión exhaustiva.

Los modelos de entrada (por ejemplo, Bresnahan & Reiss, 1991; Berry, 1992) y de elección de ubicación (por ejemplo, Seim, 2006; Orhun, 2013) modelan explícitamente el

comportamiento estratégico de empresas que persiguen la maximización de sus beneficios en función de factores que afectan la demanda que enfrentan por el producto, tales como precios, acceso al mercado de productos, costos y acceso a los insumos y regulaciones (Hotelling, 1929; Estay & Stranlund, 2022). En este marco, existen condiciones de mercado y de ubicación que, debido a su atractivo en términos de demanda, generan incentivos para que las empresas seleccionen determinados mercados y ubicaciones por sobre otros. Ahora bien, estos incentivos no son exclusivos de una sola empresa, por lo que el atractivo del mercado y de la ubicación puede conducir a aglomeración y competencia.

La aglomeración puede ejercer un efecto positivo sobre los beneficios mediante la generación de economías de escala externas, mientras que la competencia puede ejercer un efecto negativo al disminuir la demanda que enfrenta cada empresa por el producto. Así, ambos efectos son contrapuestos. McCann & Vroom (2010) muestran que el efecto positivo de la aglomeración domina al efecto negativo de la competencia para una muestra de hoteles de Texas. En contraste, Seim (2006) encuentra, para una muestra de mercados de alquiler de videos en Estados Unidos, que las empresas presentan incentivos para diferenciarse espacialmente respecto de sus competidores, lo que es consistente con que el efecto negativo de la competencia puede dominar el efecto positivo de la aglomeración.

Otras investigaciones, como Mazzeo (2002), Zhu & Singh (2009) y Vitorino (2012), introducen heterogeneidad en factores observables por el investigador, tales como las características de las empresas y/o de los productos. Al incorporar heterogeneidad, los efectos de la aglomeración y de la competencia continúan interactuando, aunque ahora de manera específica a nivel de empresa o de producto. Datta & Sudhir (2013) documentan, para un amplio conjunto de mercados en Estados Unidos, que la competencia dentro de un mismo formato de tienda es mucho más intensa que la competencia entre formatos, lo que respalda la inclusión de heterogeneidad observable en los modelos empíricos.

Esta literatura también puede extenderse a la economía de los recursos naturales y del medioambiente. Sin embargo, su aplicación ha sido escasa. Estay (2021) emplea estos modelos estructurales en la acuicultura del salmón en Chile para capturar explícitamente el comportamiento estratégico que subyace a la decisión empresarial sobre el uso de licencias y, por ende, proporcionar evidencia empírica para el diseño de políticas de gestión espacial. Para ello, el autor considera que las empresas pueden usar licencias que les permiten instalar y operar un centro de producción en una ubicación establecida.

De manera consistente con la literatura anterior, la proximidad entre empresas en una ubicación desempeña un rol esencial en el comportamiento de maximización de beneficios. Por un lado, esta proximidad puede desencadenar externalidades negativas, tales como la propagación de enfermedades, que afectan adversamente los beneficios de la operación y, por consiguiente, reducen los incentivos para usar licencias en esa ubicación. Por otro lado, esta proximidad también puede generar economías de escala externas, que tienen un efecto positivo sobre los beneficios de la operación y, por ende, incrementan los incentivos para usar licencias en esa ubicación. Así, Estay (2021) evidencia que las empresas presentan incentivos para usar licencias lejos de otras empresas, lo que sugiere que el efecto adverso de las externalidades negativas prevalece sobre el efecto positivo de las economías de escala externas. Esto es respaldado por Estay & Chávez (2015), quienes reportan una expansión del uso de licencias hacia el sur de Chile, explicada principalmente por la distancia entre los centros de producción, así como por la presencia de centros que producen el mismo organismo.

Además, Ekpe & Klis (2023) proponen modelos Probit Espacial y Durbin Espacial Regular para capturar el comportamiento estratégico que subyace a las decisiones de riego y de elección de tipo de cultivo en contextos de recursos comunes, tales como las reservas de agua subterránea del Valle de San Luis, en Colorado. Véase, además, Moore, et al. (1994) y Smith, et al. (2017). No obstante, el enfoque empírico de esta literatura corresponde a una especificación en forma reducida, lo que implica ciertas desventajas frente a los modelos estructurales de organización industrial. En concreto, la estimación estructural permite incorporar de forma explícita los factores no observables que afectan las decisiones de los agentes económicos.

Siguiendo a Datta & Sudhir (2013), esta tesis extiende el marco de Estay (2021) incorporando heterogeneidad según la especie de salmónido producida. Esta extensión permite evaluar empíricamente, en un contexto de interacción estratégica espacial entre empresas, si la probabilidad de uso de licencias en la acuicultura del salmón en Chile es independiente de la especie producida en las proximidades.

3. Metodología

En esta sección se expone el modelo estructural endógeno en el que se fundamenta la evaluación del efecto de la producción de cada especie de salmónido en las proximidades sobre el uso de licencias en la acuicultura del salmón en Chile. Este enfoque empírico

permite capturar la endogeneidad asociada al comportamiento estratégico que subyace a la decisión empresarial sobre el uso de licencias. Con ello, es posible evaluar explícitamente cómo las decisiones de unas empresas afectan las de otras.

El modelo considera un juego estático de información incompleta con decisiones simultáneas y endógenas de entrada, ACS y especie de salmónido. Es decir, las empresas basan sus decisiones en una comparación de los beneficios esperados posteriores a la entrada, en un solo periodo, entre las distintas ACS y especies de salmónidos. Esta clase de juego permite que el equilibrio pueda calcularse para un amplio conjunto de alternativas.

En concreto, las empresas deciden su entrada en las principales regiones productoras de salmón en Chile: Los Lagos, Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo (en adelante, Aysén) y Magallanes y la Antártica Chilena (en adelante, Magallanes). Simultáneamente, las empresas toman decisiones respecto de la ACS y la especie de salmónido a producir. Se consideran 84 ACS y tres especies: salmón del Atlántico, salmón coho y trucha arcoíris. Así, cada empresa usa su licencia para la producción especializada de una determinada especie de salmónido en una ACS ubicada en alguna de las regiones consideradas.

Este modelo estructural captura el comportamiento estratégico, ya que las empresas enfrentan la posibilidad de que otras empresas decidan usar licencias en las proximidades, lo que afecta los beneficios de la operación de los centros de producción. Sin embargo, existe incertidumbre respecto de las decisiones de las otras empresas, por lo que cada una forma creencias racionales acerca del número de empresas que usan licencias para operar centros especializados en la producción de cada especie de salmónido en las proximidades. Por lo tanto, dadas estas conjeturas, las empresas maximizan sus beneficios esperados.

De acuerdo con lo anterior, el modelo requiere obtener un vector de probabilidades de elección de ACS y especie de salmónido, tal que las empresas no tengan incentivos para cambiar sus decisiones dadas las decisiones esperadas de las otras empresas. Por ende, se debe encontrar un equilibrio bayesiano de Nash que caracterice las probabilidades de elección de las empresas, las cuales permiten estimar los coeficientes estructurales necesarios para evaluar explícitamente si la probabilidad de uso de licencias es independiente de la especie de salmónido producida en las proximidades.

3.1 Modelo teórico

Se asume que existe un número máximo de L^r licencias para operar centros de producción en la región r . Cada licencia permite a una empresa operar solo un centro de producción.

Los beneficios de una empresa por operar el centro i , instalado en la ACS a de la región r , para producir la especie de salmónido s se expresan de la siguiente manera:

$$\pi_{ias}^r = \alpha \cdot X_a^r + \beta \cdot Z^r + \sum_{a'=1}^{A^r} \left(\gamma_{a'sas} \cdot N_{a's}^r + \sum_{s' \neq s} \gamma_{a's'as} \cdot N_{a's'}^r \right) + \xi^r + \varepsilon_{ias}^r \quad (1)$$

$i = 1, 2, \dots, N$ (centros de producción operados por las empresas)

$r = 1, 2, \dots, R$ (regiones)

$a, a' = 1, 2, \dots, A^r$ (ACS)

$s, s' = 1, 2, \dots, S$ (especies de salmónidos)

Donde X_a^r hace referencia a características de la ACS a de la región r , tales como la distancia de a al puerto más cercano en r ; mientras que Z^r alude a características de la región r , tales como el precio promedio de producción en r . Así, los coeficientes α y β capturan las preferencias de la empresa que opera el centro i por las condiciones exógenas de la ACS a y de la región r , respectivamente. Por su parte, $N_{a's}^r$ es el número de empresas que operan centros para producir en la ACS a' de la región r igual especie de salmónido s que la producida por la empresa que opera el centro i . En consecuencia, $\gamma_{a'sas}$ mide el efecto ejercido por la proximidad de otras empresas dedicadas a la producción de la misma especie sobre los beneficios de la empresa que opera el centro i . Análogamente, $N_{a's'}^r$ es el número de empresas que operan centros para producir en la ACS a' de la región r diferente especie de salmónido s' que la producida por la empresa que opera el centro i . Por consiguiente, $\gamma_{a's'as}$ mide el efecto ejercido por la proximidad de otras empresas dedicadas a la producción de una especie distinta sobre los beneficios de la empresa que opera el centro i . Finalmente, ξ^r representa características no observables de la región r para el investigador, pero conocidas por las empresas, tales como el desarrollo económico; mientras que ε_{ias}^r contiene características de la empresa que opera el centro i , que no son observadas ni por el investigador ni por las otras empresas, tales como el talento gerencial.

Luego, se introducen b bandas de distancia para discretizar el espacio como sigue:

$$\pi_{ias}^r = \alpha \cdot X_a^r + \beta \cdot Z^r + \sum_{b=1}^B \sum_{a'=1}^{A^r} \left(\gamma_{ssb} \cdot N_{a's}^r I(a' \in b_a) + \sum_{s' \neq s} \gamma_{s'sb} \cdot N_{a's'}^r I(a' \in b_a) \right) + \xi^r + \varepsilon_{ias}^r \quad (2)$$

Donde $I(a' \in b_a)$ es una función indicadora que toma el valor 1 si la ACS a' forma parte de la banda de distancia b , definida tomando como referencia la ACS a en la que produce la empresa que opera el centro i . De este modo, γ_{ssb} mide el efecto que ejercen sobre los beneficios de la empresa que opera el centro i las empresas que operan centros para producir igual especie de salmónido s y que, además, operan en cualquiera de las ACS pertenecientes a la banda de distancia b . Por ende, las empresas que operan centros para producir la misma especie en cualquiera de las ACS abarcadas por la banda de distancia b ejercen el mismo efecto sobre los beneficios de la empresa que opera el centro i . A su vez, $\gamma_{s'sb}$ mide el efecto que ejercen sobre los beneficios de la empresa que opera el centro i las empresas que operan centros para producir diferente especie de salmónido s' en cualquiera de las ACS pertenecientes a la banda de distancia b . Por lo tanto, las empresas que operan centros para producir una especie distinta en cualquiera de las ACS abarcadas por la banda de distancia b ejercen el mismo efecto sobre los beneficios de la empresa que opera el centro i . De acuerdo con lo anterior, las intensidades de los efectos ya no dependen de las identidades de las ACS, sino de las distancias entre las ACS, lo cual es capturado mediante las bandas de distancia. Este supuesto simplifica la estimación estructural al reducir considerablemente el número de efectos que deben estimarse.

Posteriormente, dado que cada empresa posee información privada, existe incertidumbre sobre las decisiones de las otras empresas. En consecuencia, los beneficios esperados de la empresa que opera el centro i se plantean del siguiente modo:

$$E[\pi_{ias}^r] = \alpha \cdot X_a^r + \beta \cdot Z^r + \sum_{b=1}^B \sum_{a'=1}^{A^r} \left(\gamma_{ssb} \cdot E[N_{a's}^r] I(a' \in b_a) + \sum_{s' \neq s} \gamma_{s'sb} \cdot E[N_{a's'}^r] I(a' \in b_a) \right) + \xi^r + \varepsilon_{ias}^r \quad (3.1)$$

Donde $E[N_{a's}^r] = (L^r - 1) \cdot p_{a's}$ y $E[N_{a's'}^r] = (L^r - 1) \cdot p_{a's'}$ son los números esperados de empresas que operan centros en la ACS a' dedicados a la producción de igual y diferente especie de salmónido, respectivamente. De lo anterior se obtiene:

$$E[\pi_{ias}^r] = \alpha \cdot X_a^r + \beta \cdot Z^r + \sum_{b=1}^B \sum_{a'=1}^{A^r} \gamma_{ssb} \cdot (L^r - 1) \cdot p_{a's} I(a' \in b_a) + \sum_{b=1}^B \sum_{a'=1}^{A^r} \sum_{s' \neq s} \gamma_{s'sb} \cdot (L^r - 1) \cdot p_{a's'} I(a' \in b_a) + \xi^r + \varepsilon_{ias}^r \quad (3.2)$$

Donde L^r , recuérdese, es el número máximo de licencias para operar centros de producción en la región r , equivalente al número potencial de centros de producción operativos en esta región. Además, considerando la especie de salmónido producida por la empresa que opera el centro i , $p_{a's}$ representa la probabilidad de que una empresa produzca en la ACS a' la misma especie s , mientras que $p_{a's'}$ representa la probabilidad de que una empresa produzca en la ACS a' una especie distinta s' . Así, $\bar{P}_s^r = \{p_{1s}, \dots, p_{A^r s}\}$ y $\bar{P}_{s'}^r = \{p_{1s'}, \dots, p_{A^r s'}\}$ son los vectores de probabilidades condicionales de elección de ACS asociados a las empresas que operan centros para producir las especies de salmónidos s y s' , respectivamente. Por consiguiente, existe una matriz de probabilidades condicionales de elección de ACS y especie de salmónido para cada región, dada por $\bar{P}^r = [\bar{P}_1^r, \dots, \bar{P}_S^r]$.

Con el propósito de facilitar las notaciones posteriores, se reescribe la ecuación (3.2) en función del número potencial de centros de producción operativos en r , L^r , una matriz de creencias racionales de las empresas sobre las probabilidades condicionales de elección de ACS y especie de salmónido, $\bar{P}^r$, y un conjunto de coeficientes del modelo, θ :

$$E[\pi_{ias}^r] = \hat{\pi}_{ias}(X_a^r, Z^r, L^r, \bar{P}^r; \theta) + \xi^r + \varepsilon_{ias}^r \quad (4)$$

3.2 Estimación

Se asume que el componente no observable a nivel de empresa, ε_{ias}^r , es independiente e idénticamente distribuido de valor extremo tipo I. Bajo este supuesto, la probabilidad de que una empresa, condicionada a su entrada en la región r , decida ubicarse en la ACS a para producir la especie de salmónido s adopta la forma de un logit endógeno:

$$\psi_{as}(X_a^r, Z^r, L^r, \bar{P}^r; \theta) = \frac{\exp[\hat{\pi}_{ias}(X_a^r, Z^r, L^r, \bar{P}^r; \theta)]}{\sum_{a'=1}^{A^r} \sum_{\varphi=1}^S \exp[\hat{\pi}_{ia'\varphi}(X_a^r, Z^r, L^r, \bar{P}^r; \theta)]} \quad (5)$$

Por otra parte, los beneficios esperados de no entrar en la región r se normalizan a cero, de modo que la probabilidad de entrada se puede expresar como:

$$p(\text{entrada}) = \frac{e^{\xi^r} \cdot \sum_{a'=1}^{A^r} \sum_{\varphi=1}^S \exp[\hat{\pi}_{ia'\varphi}(X_a^r, Z^r, L^r, \bar{P}^r; \theta)]}{1 + e^{\xi^r} \cdot \sum_{a'=1}^{A^r} \sum_{\varphi=1}^S \exp[\hat{\pi}_{ia'\varphi}(X_a^r, Z^r, L^r, \bar{P}^r; \theta)]} \quad (6)$$

Siguiendo a Seim (2006), se asume que el número observado en los datos de empresas que operan centros de producción en la región r coincide con su número esperado:

$$O^r = L^r \cdot p(\text{entrada}) \quad (7)$$

Donde O^r es el número observado en los datos de centros de producción operativos en la región r , representado por el número de licencias operativas; y L^r es el número potencial de centros de producción operativos en la región r , siendo el número máximo de licencias para operar centros de producción en esta región, es decir, la suma de las licencias operativas y no operativas. En consecuencia, O^r y L^r son conocidos.

Dado lo anterior, se puede recuperar el componente no observable a nivel de región, ξ^r , al relacionar mediante la probabilidad de entrada las ecuaciones (6) y (7):

$$\xi^r = \ln(O^r) - \ln(L^r - O^r) - \ln \left(\sum_{a'=1}^{A^r} \sum_{\varphi=1}^S \exp[\hat{\pi}_{ia'\varphi}(X_a^r, Z^r, L^r, \bar{P}^r; \theta)] \right) \quad (8)$$

Luego, se asume que ξ^r es independiente e idénticamente distribuido entre regiones y que sigue una distribución normal, $N(\mu, \sigma^2)$. Así, la función de densidad de probabilidad normal evaluada en el valor obtenido en la ecuación (8) entrega la probabilidad de entrada a una región r compuesta por O^r empresas que operan centros de producción, $\phi(\xi^r; \mu, \sigma^2)$.

Finalmente, la función de verosimilitud del modelo es:

$$L(\bar{P}^r, \xi^r; \theta) = \prod_{r=1}^R \left[\left\{ \prod_{a=1}^{A^r} \prod_{s=1}^S (\psi_{as}(X_a^r, Z^r, L^r, \bar{P}^r; \theta))^{J(as)} \right\} \cdot \phi(\xi^r; \mu, \sigma^2) \right] \quad (9)$$

Donde θ es el conjunto de todos los coeficientes del modelo, es decir, $\theta = \{\theta, \mu, \sigma^2\}$, y $J(as)$ es una función indicadora que toma el valor 1 si la ACS a es escogida por una empresa para operar un centro que produce la especie de salmónido s , y 0 en caso contrario.

Por consiguiente, la función de log-verosimilitud está dada por:

$$\ell = \sum_{r=1}^R \left[\sum_{a=1}^{A^r} \sum_{s=1}^S N_{as}^r \cdot \ln(\psi_{as}) \right] - \frac{R}{2} [\ln(2) + \ln(\pi) + 2\ln(\sigma)] - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{r=1}^R (\xi^r - \mu)^2 \quad (10)$$

Obsérvese que, dado que en la ecuación (5) la probabilidad es endógena dentro del sistema de probabilidades de cada región, el algoritmo que maximiza la ecuación (10) debe hallar las probabilidades de equilibrio en cada iteración. Para incluir esta característica, se programa una rutina de punto fijo que resuelve la ecuación (5) dentro de la función objetivo.

3.3 Inferencia estadística

Una vez estimado el modelo estructural endógeno mediante máxima verosimilitud, se obtienen las estimaciones de los coeficientes estructurales γ_{ssb} y $\gamma_{s'sb}$. Estos parámetros miden, respectivamente, el efecto que ejerce el uso de licencias destinadas a la producción de una especie de salmónido igual y diferente a s , dentro de la banda de distancia b , sobre el uso de licencias destinadas a la producción de la especie s . De acuerdo con Estay (2021), se podría esperar que los coeficientes estructurales estimados $\hat{\gamma}_{ssb}$ y $\hat{\gamma}_{s'sb}$ sean estadísticamente significativos, lo que constituiría evidencia de interdependencia en las decisiones empresariales sobre el uso de licencias. Con ello, se respaldaría la pertinencia de emplear un modelo estructural endógeno en la acuicultura del salmón en Chile. Además, se podría esperar que $\hat{\gamma}_{ssb}$ y $\hat{\gamma}_{s'sb}$ presenten signos negativos, lo que sugeriría que el efecto adverso de las externalidades negativas prevalece sobre el efecto positivo de las economías de escala externas.

Posteriormente, con el propósito de evaluar si la probabilidad de uso de licencias es independiente de la especie de salmónido producida en las proximidades, se aplican pruebas de homogeneidad de Wald, formuladas de la siguiente manera:

$$\begin{array}{lll}
 H_0: \gamma_{11b} = \gamma_{21b} = \gamma_{31b} & H_0: \gamma_{12b} = \gamma_{22b} = \gamma_{32b} & H_0: \gamma_{13b} = \gamma_{23b} = \gamma_{33b} \\
 H_1: \text{al menos uno difiere} & H_1: \text{al menos uno difiere} & H_1: \text{al menos uno difiere} \\
 H_0: \gamma_{11b} = \gamma_{12b} = \gamma_{13b} & H_0: \gamma_{21b} = \gamma_{22b} = \gamma_{23b} & H_0: \gamma_{31b} = \gamma_{32b} = \gamma_{33b} \\
 H_1: \text{al menos uno difiere} & H_1: \text{al menos uno difiere} & H_1: \text{al menos uno difiere}
 \end{array}$$

Donde los subíndices 1, 2 y 3 denotan salmón del Atlántico, salmón coho y trucha arcoíris, respectivamente. Por consiguiente, las pruebas de homogeneidad de Wald permiten contrastar si la producción de una determinada especie de salmónido en las proximidades ejerce el mismo efecto sobre el uso de licencias destinadas a la producción de igual y diferente especie. Asimismo, permiten contrastar si el uso de licencias destinadas a la producción de una determinada especie de salmónido recibe el mismo efecto de la producción de igual y diferente especie en las proximidades. Por ejemplo, se puede contrastar si la producción de salmón del Atlántico en las proximidades afecta de la misma manera al uso de licencias destinadas a la producción de salmón del Atlántico, salmón coho y trucha arcoíris. A su vez, se puede contrastar si el uso de licencias destinadas a la producción de salmón del Atlántico se ve afectado de la misma manera por la producción de salmón del Atlántico, salmón coho y trucha arcoíris en las proximidades.

Finalmente, para completar la evaluación de homogeneidad, se aplican las siguientes pruebas de simetría de Wald:

$$\begin{array}{lll} H_0: \gamma_{12b} = \gamma_{21b} & H_0: \gamma_{13b} = \gamma_{31b} & H_0: \gamma_{23b} = \gamma_{32b} \\ H_1: \gamma_{12b} \neq \gamma_{21b} & H_1: \gamma_{13b} \neq \gamma_{31b} & H_1: \gamma_{23b} \neq \gamma_{32b} \end{array}$$

Estas pruebas de simetría de Wald contrastan la reciprocidad de los efectos entre pares de especies de salmónidos. Por ejemplo, se puede contrastar si el efecto de la producción de salmón del Atlántico en las proximidades sobre el uso de licencias destinadas a la producción de salmón coho es igual al efecto de la producción de salmón coho en las proximidades sobre el uso de licencias destinadas a la producción de salmón del Atlántico.

En términos generales, si los coeficientes difieren significativamente entre especies, la especie de salmónido producida en las proximidades afectaría de manera diferenciada la probabilidad de uso de licencias, por lo que esta heterogeneidad debería ser considerada por el Estado en el diseño de políticas de gestión espacial. Por el contrario, si los coeficientes no difieren significativamente entre especies, no existiría evidencia estadística de que la probabilidad de uso de licencias dependa de la especie de salmónido producida en las proximidades.

4. Datos

Esta tesis se enfoca en la producción intensiva de salmónidos en agua de mar, ya que en este entorno se genera la mayor parte de los impactos de la industria. El área contemplada es la Patagonia chilena, con una superficie aproximada de 289.324,1 km². Este territorio se divide políticamente en las regiones de Los Lagos (48.583,6 km²), Aysén (108.494,4 km²) y Magallanes (132.291,1 km²).

La muestra considera todas las licencias de acuicultura otorgadas y autorizadas en el océano para producir salmónidos en las ACS. El periodo abarca desde enero de 2015 hasta diciembre de 2023 e incluye 84 ACS: 24 en Los Lagos, 37 en Aysén y 23 en Magallanes. El análisis comienza en enero de 2015, porque desde entonces las empresas usan licencias para instalar y operar centros especializados en la producción de una de las tres principales especies de salmónidos: salmón del Atlántico, salmón coho o trucha arcoíris. A pesar de que no existe una explicación concluyente para este comportamiento, es posible que esté vinculado a las diferencias en los ciclos productivos de cada especie. Cabe señalar que

todas las licencias incluidas en la muestra autorizan la producción de cualquiera de las tres especies de salmónidos predominantes, lo que permite a las empresas cambiar de especie sin necesidad de modificar la licencia. Adicionalmente, cada combinación de ACS, especie y mes se trata como una observación independiente.

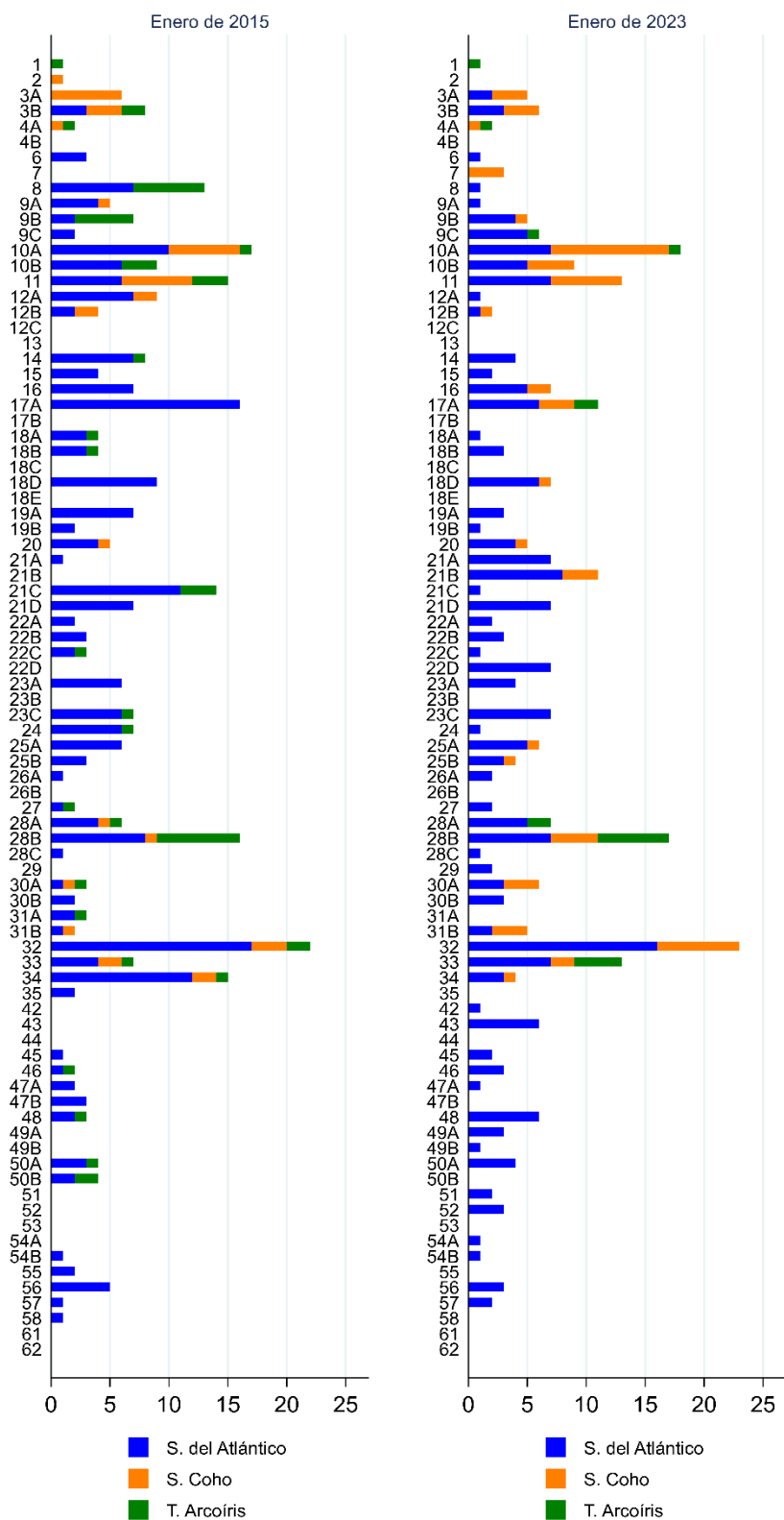
Los registros para identificar las licencias otorgadas en operación y la especie producida son proporcionados por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura de Chile (SUBPESCA) y el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura de Chile (SERNAPESCA). Estos registros son de acceso público y entregan información detallada acerca de las licencias, que incluye los años de otorgamiento y de caducidad, las coordenadas geográficas de las concesiones, las existencias por especie, entre otros. Una licencia se declara operativa si exhibe producción de salmónidos durante el mes en curso. En cambio, una licencia no operativa puede ser una licencia sin centro de cultivo o una licencia con centro de cultivo, pero sin producción.

La Figura 1 presenta una comparación, entre enero de 2015 y enero de 2023, de las licencias en operación por ACS y especie de salmónido. Se puede observar, por ejemplo, que en enero de 2015 la ACS 17A contaba con dieciséis licencias operativas, todas destinadas a la producción de salmón del Atlántico. En contraste, en enero de 2023 solo registraba once licencias operativas: seis asociadas a la producción de salmón del Atlántico, tres a salmón coho y dos a trucha arcoíris. Patrones similares se aprecian en otras ACS. En conjunto, estos cambios evidencian una evolución espacial en el uso de licencias que también considera la especie de salmónido producida, lo que hace relevante su inclusión en la estimación.

La acuicultura del salmón en Chile inició en la Región de Los Lagos y posteriormente se expandió hacia las regiones de Aysén y Magallanes. La regulación ha seguido una evolución espacial similar. Por ejemplo, las ACS se crearon inicialmente en Los Lagos y, con posterioridad a ello, esta medida administrativa se extendió a Aysén y Magallanes. Teniendo esto en cuenta, se emplea la división regional para agrupar las ACS, asumiendo que las regiones son espacios donde las empresas deciden de manera independiente el uso de licencias en las ACS, así como la especie de salmónido producida. Por ello, se incluyen variables dummy regionales en la estimación.

Las empresas toman las decisiones de uso de licencias teniendo en consideración las condiciones económicas que determinan el desempeño de la acuicultura del salmón. Como

Figura 1. Comparación del número de licencias operativas por ACS y especie de salmónido entre enero de 2015 y enero de 2023.



Fuente: Elaboración propia basada en datos de SUBPESCA y SERNAPESCA.

se expuso anteriormente, la producción de salmón cultivado es principalmente exportada, por lo que su rendimiento en el mercado internacional es relevante para esta decisión. En consecuencia, desde el Servicio Nacional de Aduanas de Chile (SNA) se obtiene el precio promedio mensual de exportación de salmónidos (en USD) para incorporarlo en la estimación. Esta variable representa un incentivo de mercado, de modo que se espera que afecte positivamente la probabilidad de uso de licencias.

La aglomeración también ofrece incentivos a las empresas para el uso de licencias en las ACS. Por un lado, puede generar economías de escala externas y abaratamiento de costos. En tal sentido, de acuerdo con Estay & Chávez (2015), las características espaciales de las ACS son relevantes para capturar estos incentivos. Por lo tanto, se obtienen de SUBPESCA y SERNAPESCA las coordenadas de ubicación de los centros de producción para la construcción de dos variables de distancia a lugares estratégicos para las empresas: distancia de la ACS al puerto más cercano y distancia de la ACS a la capital más cercana (en km). Se espera que, a menor distancia al puerto más cercano o a la capital más cercana, mayor sea la probabilidad de uso de licencias en esa ACS.

Por otro lado, la aglomeración puede generar externalidades negativas en el ambiente. Estay & Chávez (2015) categorizan las áreas de impacto de este tipo de externalidades en escape de peces, deterioro de la calidad del agua y transmisión de enfermedades e infecciones. En este sentido, se definen dos indicadores para capturar estos incentivos. Primero, se construye una tasa de mortalidad acumulada móvil de doce meses por ACS, como medida del historial sanitario reciente de la agrupación. Segundo, puesto que un centro de producción es clasificado como anaeróbico cuando posee bajas o nulas concentraciones de oxígeno, se construye un acumulado de clasificaciones anaeróbicas por licencia en ACS, el cual mide la carga ambiental histórica de la agrupación. Se espera que estas variables afecten negativamente la probabilidad de uso de licencias en las ACS.

En línea con lo anterior, las empresas enfrentan condiciones regulatorias al momento de seleccionar una ACS para instalar y operar un centro de producción. Por ejemplo, las ACS deben llevar a cabo descansos sanitarios. Esta regulación, con el fin de reducir riesgos sanitarios y ambientales, establece un periodo obligatorio en el que todos los centros que componen una ACS no pueden operar productivamente. Así, se crean dos variables dummy para incorporar este aspecto regulatorio en la estimación. La primera indica si la ACS está entre uno y tres meses antes del descanso sanitario, mientras que la segunda indica si la ACS está entre uno y tres meses después del descanso sanitario.

Además, se construye el promedio móvil de seis meses de licencias operativas por ACS, como una medida de la intensidad operativa reciente de la agrupación. Esta variable puede interpretarse como una señal de condiciones favorables en las ACS para que las empresas usen licencias para operar activamente centros de producción, de modo que se espera que afecte positivamente la probabilidad de uso de licencias. De igual manera, el tamaño de una ACS es relevante, puesto que determina el espacio disponible para la instalación de los centros de producción. Por consiguiente, desde mapas oficiales de las ACS, se calcula el área de agua por ACS (en km²). Esta medida excluye áreas terrestres no aptas para el otorgamiento de licencias, por lo que refleja con precisión el área efectivamente disponible para la producción. Se espera que esta variable tenga un efecto positivo sobre la probabilidad de uso de licencias en las ACS.

La Tabla 1 presenta las estadísticas descriptivas de las principales variables de la muestra, proporcionando una caracterización de los datos empleados en la estimación.

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de las características de las ACS.

Variable	Promedio	Desv. est.	Mínimo	Máximo
Número mensual de licencias por ACS	16,32	13,07	1,00	60,00
Número mensual de licencias operativas por ACS	3,84	4,64	0,00	31,00
<i>Salmón del Atlántico</i>	2,73	3,22	0,00	24,00
<i>Salmón coho</i>	0,76	1,78	0,00	13,00
<i>Trucha arcoíris</i>	0,35	1,05	0,00	13,00
Precio promedio mensual de exportación (USD)	8,05	1,47	5,17	11,00
Distancia de la ACS al puerto más cercano (km)	117,26	57,43	0,26	322,30
Distancia de la ACS a la capital más cercana (km)	91,02	46,80	6,50	285,00
Tasa de mortalidad acumulada móvil de 12 meses por ACS	0,01	0,01	0,00	0,50
Acumulado de clasificaciones anaeróbicas por licencia en ACS	0,47	0,71	0,00	6,00
Dummy 1-3 meses pre-descanso sanitario	0,09	0,29	0,00	1,00
Dummy 1-3 meses post-descanso sanitario	0,09	0,29	0,00	1,00
Promedio móvil de 6 meses de licencias operativas por ACS	3,93	4,43	0,00	29,33
Área de agua por ACS (km ²)	332,22	254,37	13,72	1367,78

Fuente: Elaboración propia basada en datos de SUBPESCA, SERNAPESCA y SNA.

Como se aprecia en la Tabla 1, en promedio mensual, las empresas operan cerca del 25% de las licencias disponibles por ACS. En este sentido, las licencias operativas se destinan principalmente a la producción de salmón del Atlántico, mientras que su asignación a la producción de salmón coho y trucha arcoíris es levemente favorable al salmón coho, aunque con una mayor variabilidad entre ACS. De este modo, los datos sugieren la existencia de patrones diferenciados en el uso de licencias según la especie de salmónido, lo que fortalece su inclusión en la estimación.

4.1 Modelo empírico

En equilibrio la ecuación (3.2) es:

$$\begin{aligned}
 E[\pi_{ias}^r] = & \alpha_1 Trend + \alpha_2 Reg11 + \alpha_3 Reg12 + \beta_1 Price^r + \beta_2 Disport_a^r + \beta_3 Discap_a^r \\
 & + \beta_4 Cum12mmort_a^r + \beta_5 Cumanaerlic_a^r + \beta_6 M1to3beffall_a^r + \beta_7 M1to3aftfall_a^r \\
 & + \beta_8 Avg6moplic_a^r + \beta_9 Warea_a^r \\
 & + \sum_{b=1}^B \sum_{a'=1}^{A^r} \gamma_{ssb} \cdot (L^r - 1) \cdot p_{a's} I(a' \in b_a) + \sum_{b=1}^B \sum_{a'=1}^{A^r} \sum_{s' \neq s} \gamma_{s'sb} \cdot (L^r - 1) \cdot p_{a's'} I(a' \in b_a) \quad (11)
 \end{aligned}$$

Donde *Trend* es una variable de tendencia y *Reg11* y *Reg12* son variables dummy para Aysén y Magallanes, respectivamente. Luego, *Price^r* es el precio promedio mensual de exportación de salmónidos, *Disport_a^r* es la distancia de la ACS *a* al puerto más cercano en la región *r*, *Discap_a^r* es la distancia de *a* a la capital más cercana en *r*, *Cum12mmort_a^r* es la tasa de mortalidad acumulada móvil de doce meses en *a*, *Cumanaerlic_a^r* es el acumulado de clasificaciones anaeróbicas por licencia en *a*, *M1to3beffall_a^r* es una variable dummy que toma el valor 1 si *a* se encuentra entre uno y tres meses antes del descanso sanitario, *M1to3aftfall_a^r* es una variable dummy que toma el valor 1 si *a* está entre uno y tres meses después del descanso sanitario, *Avg6moplic_a^r* es el promedio móvil de seis meses de licencias operativas en *a* y *Warea_a^r* es el área de agua en *a*. Además, γ_{ssb} representa el efecto espacial intraespecie, mientras que $\gamma_{s'sb}$ representa el efecto espacial interespecie. En este sentido, siguiendo a Estay (2021), se definen dos bandas de distancia: la primera entre 0 y 6 millas y la segunda entre 6 y 45 millas.

5. Resultados

Las siguientes tablas presentan la selección del modelo según los criterios de información de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC), así como los resultados de su estimación:

Tabla 2. Selección de la especificación del modelo estructural endógeno mediante AIC y BIC.

Variable	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Tendencia	✓	✓	✓	✓
Dummy región de Aysén	✓	✓	✓	✓
Dummy región de Magallanes	✓	✓	✓	✓
Precio promedio mensual de exportación	✓	✓	✓	✓
Distancia de la ACS al puerto más cercano	✓	✓	✓	✓
Distancia de la ACS a la capital más cercana	✓	✓	✓	✓
Tasa de mortalidad acumulada móvil de 12 meses por ACS	✓	✓	✓	✓
Acumulado de clasificaciones anaeróbicas por licencia en ACS	✓	✓	✓	✓
Dummy 1-3 meses pre-descanso sanitario	✓	✓	✓	✓
Dummy 1-3 meses post-descanso sanitario	✓	✓	✓	✓
Promedio móvil de 6 meses de licencias operativas por ACS	✓	X	X	X
Promedio móvil de 12 meses de licencias operativas por ACS	X	✓	X	X
Promedio móvil de 6 meses de existencias por licencia operativa en ACS	X	X	✓	X
Promedio móvil de 12 meses de existencias por licencia operativa en ACS	X	X	X	✓
Área de agua por ACS	✓	✓	✓	✓
Interacciones estratégicas espaciales	✓	✓	✓	✓
Número de observaciones	26919,0	26919,0	26919,0	26919,0
AIC	400967,6	416310,3	422357,7	421567,3
BIC	401230,0	416572,7	422620,1	421829,7

Los valores más bajos de AIC y BIC indican una mejor especificación. La especificación preferida se reporta en negrita.

La Tabla 2 muestra cuatro especificaciones del modelo estructural endógeno, las cuales difieren únicamente en la medida empleada para capturar la intensidad operativa reciente de las ACS. Debido al elevado grado de correlación entre estas variables, se incorporan de forma mutuamente excluyente con el propósito de evitar problemas de multicolinealidad. De acuerdo con AIC y BIC, el Modelo 1 es seleccionado como la especificación preferida, dado que registra los menores valores en ambos indicadores.

Definida la especificación que mejor se ajusta a los datos, el análisis se centra en los coeficientes estructurales estimados. Así, la Tabla 3 muestra los resultados de la estimación del Modelo 1 mediante el logit endógeno, considerando dos bandas de distancia: la primera de 0 a 6 millas y la segunda de 6 a 45 millas. Las estimaciones de los modelos 2, 3 y 4 son reportadas en el Anexo. Se aprecia que el precio promedio mensual de exportación ($Price^r$), el promedio móvil de seis meses de licencias operativas por ACS ($Avg6moplic_a^r$) y el área de agua por ACS ($Warea_a^r$) poseen el signo positivo esperado. En consecuencia, estas variables incrementan el atractivo de las ACS.

Asimismo, una menor distancia de la ACS al puerto más cercano ($Disport_a^r$) se asocia con una mayor probabilidad de uso de licencias en esa agrupación. Por otra parte, la probabilidad de uso de licencias es mayor cuanto más distante se encuentra la ACS de la capital más cercana ($Discap_a^r$). Una posible explicación es que las condiciones ambientales más favorables para la producción acuícola suelen hallarse alejadas de los principales asentamientos urbanos, por lo que las ACS ubicadas en zonas más remotas podrían considerarse más atractivas para el uso de licencias. Luego, en línea con lo esperado, la tasa de mortalidad acumulada móvil de doce meses por ACS ($Cum12mmort_a^r$) y el acumulado de clasificaciones anaeróbicas por licencia en ACS ($Cumanaerlic_a^r$) presentan signo negativo. Por ende, estas variables reducen el atractivo de las ACS. Posteriormente, las variables dummy relacionadas con los descansos sanitarios ($M1to3beffall_a^r$ y $M1to3aftfall_a^r$) tienen signo negativo y positivo, respectivamente, evidenciando diferencias en la probabilidad de uso de licencias según la etapa del ciclo sanitario en que se encuentra la ACS. Adicionalmente, los signos de las variables dummy regionales ($Reg11$ y $Reg12$) capturan las características propias de cada región.

Por otro lado, la Tabla 3 también exhibe los coeficientes estructurales asociados a las interacciones estratégicas existentes entre las empresas, las cuales se caracterizan por la proximidad espacial y por la especie de salmónido producida. En primer lugar, se observa que todos estos coeficientes son significativos desde el punto de vista estadístico, lo que evidencia que las decisiones de uso de licencias no son independientes entre empresas. Por consiguiente, la elección de ACS y especie de salmónido por parte de una empresa depende sistemáticamente de la presencia de otras empresas en las proximidades. Esto valida empíricamente la estimación de un modelo estructural endógeno para el análisis de la acuicultura del salmón en Chile.

Tabla 3. Coeficientes estructurales estimados, considerando dos bandas de distancia.

Variable	Coeficiente estimado
Tendencia	-0,00225***
Dummy región de Aysén	-0,37675***
Dummy región de Magallanes	0,75164***
Precio promedio mensual de exportación	0,01062***
Distancia de la ACS al puerto más cercano	-0,17510***
Distancia de la ACS a la capital más cercana	0,13148***
Tasa de mortalidad acumulada móvil de 12 meses por ACS	-0,04244***
Acumulado de clasificaciones anaeróbicas por licencia en ACS	-0,11512***
Dummy 1-3 meses pre-descanso sanitario	-1,02589***
Dummy 1-3 meses post-descanso sanitario	0,51187***
Promedio móvil de 6 meses de licencias operativas por ACS	0,73454***
Área de agua por ACS	0,00673***
Interacciones estratégicas espaciales para la primera banda (0 a 6 millas)	
<i>Salmón del Atlántico sobre salmón del Atlántico</i>	-0,01097***
<i>Salmón coho sobre salmón coho</i>	-0,25607***
<i>Trucha arcoíris sobre trucha arcoíris</i>	-0,71068***
<i>Salmón del Atlántico sobre salmón coho</i>	0,01934***
<i>Salmón coho sobre salmón del Atlántico</i>	-0,18049***
<i>Salmón del Atlántico sobre trucha arcoíris</i>	-0,09137***
<i>Trucha arcoíris sobre salmón del Atlántico</i>	-0,05534***
<i>Salmón coho sobre trucha arcoíris</i>	-0,15147***
<i>Trucha arcoíris sobre salmón coho</i>	-0,47369***
Interacciones estratégicas espaciales para la segunda banda (6 a 45 millas)	
<i>Salmón del Atlántico sobre salmón del Atlántico</i>	-0,01075***
<i>Salmón coho sobre salmón coho</i>	-0,05425***
<i>Trucha arcoíris sobre trucha arcoíris</i>	-0,38824***
<i>Salmón del Atlántico sobre salmón coho</i>	0,02161***
<i>Salmón coho sobre salmón del Atlántico</i>	0,09769***
<i>Salmón del Atlántico sobre trucha arcoíris</i>	-0,02530***
<i>Trucha arcoíris sobre salmón del Atlántico</i>	-0,01553***
<i>Salmón coho sobre trucha arcoíris</i>	-0,10771***
<i>Trucha arcoíris sobre salmón coho</i>	-0,38709***
μ	-4,69609***
σ	-1,89558***

*p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01. Estimaciones estadísticamente significativas se reportan en negrita.

En segundo lugar, los resultados muestran que los coeficientes estructurales intraespecie presentan signos negativos, lo que implica la existencia de incentivos para que las empresas usen licencias lejos de las empresas que producen la misma especie. Esto sugiere que el efecto adverso de las externalidades negativas domina al efecto positivo de las economías de escala externas.

En tercer lugar, se aprecia que los signos negativos también predominan en los coeficientes estructurales interespecie. Concretamente, destaca que la presencia de empresas que producen trucha arcoíris en las proximidades afecta negativamente la probabilidad de usar licencias para producir cualquiera de las otras especies de salmónidos. Esto, sumado a que su coeficiente estructural intraespecie también es negativo, sugiere que las empresas poseen incentivos para usar licencias lejos de operaciones dedicadas a la producción de trucha arcoíris. En concordancia con la literatura, se infiere que este patrón de interacción estratégica espacial podría asociarse a la elevada susceptibilidad de la trucha arcoíris frente a enfermedades e infecciones que inciden negativamente en las condiciones sanitarias de las distintas especies de salmónidos (González, et al., 1997; Cáceres, et al., 2021). Aunque predominan los efectos estratégicos espaciales negativos, algunos coeficientes estructurales presentan signo positivo. En concreto, resaltan aquellos que miden los efectos del salmón del Atlántico sobre el salmón coho y del salmón coho sobre el salmón del Atlántico en determinadas bandas de distancia. Esto sugiere la existencia de complementariedades espaciales o menores conflictos sanitarios entre ambas especies, por lo que el efecto positivo de las economías de escala externas domina al efecto adverso de las externalidades negativas. En línea con la literatura, se infiere que las empresas especializadas en la producción de salmón coho podrían tener incentivos para concentrarse espacialmente cerca de la producción de salmón del Atlántico, debido a que el salmón del Atlántico actúa como ancla del clúster salmonero en Chile, permitiendo que la producción de salmón coho en las proximidades se beneficie de economías externas asociadas al acceso a insumos y redes de proveedores (Perlman & Juárez-Rubio, 2010; Poblete, et al., 2019). En el mismo sentido, las empresas especializadas en la producción de salmón del Atlántico podrían tener incentivos para ubicarse espacialmente cerca de la producción de salmón coho, producto de la menor susceptibilidad del salmón coho frente a enfermedades e infecciones que inciden negativamente en el salmón del Atlántico, favoreciendo así la diversificación sanitaria (Carvalho, et al., 2020; Salisbury, et al., 2024). Este resultado es congruente con la evidencia existente en otras actividades productivas expuestas a incertidumbre, tales como la pesca, donde los agentes económicos participan

en distintas pesquerías como estrategia para diversificar el riesgo financiero (Kasperski & Holland, 2013; Holland, et. al, 2017). Desde esta perspectiva, la proximidad entre producciones de distintas especies podría interpretarse como una estrategia análoga de diversificación, orientada en este caso a reducir la exposición al riesgo sanitario.

Si bien los coeficientes estructurales estimados son consistentes con la existencia de heterogeneidad en las interacciones estratégicas espaciales entre especies de salmónidos, es necesario contrastar formalmente esta hipótesis. Para ello, se aplican pruebas de homogeneidad y simetría de Wald sobre los coeficientes estructurales estimados. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4. Pruebas de homogeneidad y simetría de los coeficientes estructurales estimados entre especies de salmónidos, considerando dos bandas de distancia.

Prueba de Wald	Estadístico de Wald	
	Primera banda (0 a 6 millas)	Segunda banda (6 a 45 millas)
Prueba de homogeneidad		
<i>Salmón del Atlántico sobre todas</i>	33256637993353,4***	3941808,4***
<i>Salmón coho sobre todas</i>	807033,5***	62750610,5***
<i>Trucha arcoíris sobre todas</i>	272543040,5***	84112660,7***
<i>Todas sobre salmón del Atlántico</i>	135237580545900,7***	18993256,6***
<i>Todas sobre salmón coho</i>	67058633,7***	39908704,5***
<i>Todas sobre trucha arcoíris</i>	1743577102165847,2***	17695341,3***
Prueba de simetría		
<i>Salmón del Atlántico frente a salmón coho</i>	179861197993357,1***	7927644,1***
<i>Salmón del Atlántico frente a trucha arcoíris</i>	410384,3***	53213,5***
<i>Salmón coho frente a trucha arcoíris</i>	17558234,7***	25807055,3***

*p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01. Estadísticos de contraste significativos se reportan en negrita. Las pruebas de homogeneidad contrastan la igualdad de coeficientes entre especies, mientras que las pruebas de simetría evalúan la reciprocidad de efectos espaciales entre pares de especies.

Como se observa en la Tabla 4, las hipótesis de homogeneidad y simetría de Wald son rechazadas estadísticamente. Por lo tanto, existe evidencia estadística suficiente para respaldar la existencia de interacciones estratégicas espaciales heterogéneas entre las distintas especies de salmónidos. En consecuencia, la probabilidad de uso de licencias depende de la especie de salmónido producida en las proximidades.

6. Conclusiones

En esta tesis se evalúa empíricamente si la probabilidad de uso de licencias es independiente de la especie de salmónido producida en las áreas circundantes de la acuicultura del salmón en Chile. Para ello, se estima un modelo estructural endógeno de entrada, ubicación y elección de producto, con el cual se captura explícitamente el comportamiento estratégico subyacente en estas decisiones empresariales durante el periodo 2015-2023. Dado lo anterior, la tesis aborda una brecha de la literatura sobre la acuicultura del salmón en Chile, relacionada con la escasa consideración de la heterogeneidad entre especies de salmónidos en el análisis del uso de licencias.

Los resultados muestran que las características de las regiones y de las ACS son determinantes de la probabilidad de uso de licencias. Sin embargo, el hallazgo más importante es que estas decisiones no son independientes entre empresas y que las interacciones estratégicas espaciales dependen de la especie de salmónido producida. Concretamente, los coeficientes estructurales estimados revelan que los incentivos que enfrentan las empresas al momento de usar licencias dependen no solo de la presencia de otras empresas en las proximidades, sino también de la especie producida.

Este hallazgo es la principal contribución de esta tesis. Mientras que la literatura previa aplicada a la acuicultura del salmón en Chile ha tratado a las especies de salmónidos como homogéneas, los resultados obtenidos evidencian que este supuesto no es consistente con los datos. En general, se observa que las interacciones estratégicas espaciales negativas prevalecen entre especies, lo que es coherente con que el efecto adverso de las externalidades negativas domine al efecto positivo de las economías de escala externas. En concreto, existen incentivos para que la producción de cualquier especie de salmónido se concentre espacialmente lejos de la operación de centros dedicados a la trucha arcoíris. No obstante, también se identifican relaciones específicas de complementariedad espacial entre la producción de salmón del Atlántico y de salmón coho. Estos resultados sugieren que las interacciones estratégicas espaciales varían entre especies, lo que puede asociarse a diferencias en las condiciones de mercado y de producción que enfrenta cada una.

Las implicancias para la política pública son relevantes. En particular, las políticas de gestión espacial orientadas a mejorar la asignación espacial podrían beneficiarse de incorporar explícitamente la heterogeneidad de los incentivos productivos entre especies. En este sentido, se podría evaluar la conveniencia de diseñar instrumentos diferenciados

según la combinación de especies producidas en cada ACS. Por ejemplo, se podría evaluar la definición de participaciones diferenciadas de licencias operativas en función de las combinaciones de especies, de manera que la gestión espacial considere tanto los efectos de las externalidades negativas como los de las economías de escala externas.

El modelo propuesto presenta ciertas limitaciones que, a su vez, abren oportunidades para futuras investigaciones. En primer lugar, no contempla las decisiones precedentes de propiedad de licencias, las cuales condicionan la posibilidad de instalar y operar un centro en una ACS determinada. En segundo lugar, no toma en cuenta que una empresa pueda poseer más de una licencia en una misma ACS, lo que impide capturar de forma explícita posibles economías de escala. En tercer lugar, los datos empleados presentan una dimensión espacio-temporal que no es explotada en el modelo. No obstante lo anterior, la presente tesis representa uno de los primeros esfuerzos por analizar el uso de licencias en la acuicultura del salmón en Chile, capturando explícitamente la endogeneidad subyacente e incorporando los factores centrales que caracterizan esta decisión.

De acuerdo con lo anterior, esta tesis evidencia que la decisión de uso de licencias en la acuicultura del salmón en Chile no se puede comprender adecuadamente suponiendo que las especies producidas son homogéneas. Esta decisión está condicionada por interacciones estratégicas espaciales que varían según la especie de salmónido producida. De este modo, los resultados permiten cubrir la brecha identificada en la literatura al incorporar explícitamente la heterogeneidad entre especies para analizar el uso de licencias en la acuicultura del salmón en Chile, representando un elemento fundamental para comprender los patrones espaciales de la producción salmonera y para evaluar la conveniencia de diseñar políticas de gestión espacial coherentes con una asignación del uso del espacio más eficiente.

Referencias

1. 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.
2. Aguirregabiria, V., & Suzuki, J. (2016). Empirical games of market entry and spatial competition in retail industries. In *Handbook on the Economics of Retailing and Distribution* (pp. 201-232). Edward Elgar Publishing.
3. Asche, F., & Bjørndal, T. (2011). *The economics of salmon aquaculture*. John Wiley & Sons.
4. Asche, F., Eggert, H., Oglend, A., Roheim, C. A., & Smith, M. D. (2022). Aquaculture: externalities and policy options. *Review of Environmental Economics and Policy*, 16(2), 282-305.
5. Belton, B., Bush, S. R., & Little, D. C. (2018). Not just for the wealthy: Rethinking farmed fish consumption in the Global South. *Global Food Security*, 16, 85-92.
6. Berry, S. T. (1992). Estimation of a Model of Entry in the Airline Industry. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 889-917.
7. Bresnahan, T. F., & Reiss, P. C. (1991). Entry and competition in concentrated markets. *Journal of political economy*, 99(5), 977-1009.
8. 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.
9. Cáceres, P., Barría, A., Christensen, K. A., Bassini, L. N., Correa, K., Garcia, B., Lhorente, J. P., & Yáñez, J. M. (2021). Genome-scale comparative analysis for host resistance against sea lice between Atlantic salmon and rainbow trout. *Scientific reports*, 11(1), 13231.
10. 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.
11. Carvalho, L. A., Whyte, S. K., Braden, L. M., Purcell, S. L., Manning, A. J., Muckle, A., & Fast, M. D. (2020). Impact of co-infection with *Lepeophtheirus salmonis* and *Moritella viscosa* on inflammatory and immune responses of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of fish diseases*, 43(4), 459-473.

12. Ceballos-Concha, A., Asche, F., & Cárdenas-Retamal, R. (2025). Salmon aquaculture in Chile: Production growth and socioeconomic impacts. *Reviews in Aquaculture*, 17(1), e12993.
13. 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.
14. Chile. (1992). *Ley General de Pesca y Acuicultura (Ley N.º 18.892, de 1989; texto refundido, coordinado y sistematizado fijado por Decreto N.º 430)*. Diario Oficial de la República de Chile.
15. Chile. (1993). *Decreto N.º 290: Reglamento de concesiones y autorizaciones de acuicultura*. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción.
16. Datta, S., & Sudhir, K. (2013). Does reducing spatial differentiation increase product differentiation? Effects of zoning on retail entry and format variety. *Quantitative Marketing and Economics*, 11, 83-116.
17. Díaz-Tapia, P., Varela, D., Pérez-Santos, I., Díaz-Valdés, M., Molinet, C., Seguel, M., Aguilera-Belmonte, A., Guzmán, L., Uribe, E., Rengel, J., Hernández, C., Segura, C., & Figueroa, R. I. (2019). Impacts of harmful algal blooms on the aquaculture industry: Chile as a case study. *Centro Oceanográfico de A Coruña*.
18. Ekpe, G. K., & Klis, A. A. (2023). Spillover effects in irrigated agriculture from the groundwater commons. *Environmental and Resource Economics*, 86(3), 469-507.
19. Estay, M. (2021). *Three Essays on Industrial Organization and Natural Resource Economics*. University of Massachusetts-Amherst.
20. 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.
21. Estay, M., & Stranlund, J. K. (2022). Entry, location, and optimal environmental policies. *Resource and Energy Economics*, 70, 101326.
22. FAO (2024). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Blue Transformation in action*. Rome, FAO.
23. Fischer, C., Guttormsen, A. G., & Smith, M. D. (2017). Disease risk and market structure in salmon aquaculture. *Water Economics and Policy*, 3(02), 1650015.
24. Garlock, T., Asche, F., Anderson, J., Bjørndal, T., Kumar, G., Lorenzen, K., Ropicki, A., Smith, M. D., & Tveterås, R. (2020). A global blue revolution: aquaculture growth across regions, species, and countries. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 28(1), 107-116.

25. González, L., Carvajal, J., & Medina, A. (1997). Susceptibilidad comparativa de trucha arco iris y salmón coho a ectoparásitos de importancia económica. *Archivos de medicina veterinaria*, 29(1), 127-132.
26. Holland, D. S., Speir, C., Agar, J., Crosson, S., DePiper, G., Kasperski, S., Kitts, A. W., & Perruso, L. (2017). Impact of catch shares on diversification of fishers' income and risk. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(35), 9302-9307.
27. Hotelling, H. (1929). Stability in competition. *Economic Journal*, 39(153), 41-57
28. Johnson, S. C., & Albright, L. J. (1992). Comparative susceptibility and histopathology of the response of naive Atlantic. Chinook and coho salmon to experimental infection with *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae). *Diseases of Aquatic Organisms*, 14, 179-193.
29. Kasperski, S., & Holland, D. S. (2013). Income diversification and risk for fishermen. *Proceedings of the national academy of sciences*, 110(6), 2076-2081.
30. Landazuri-Tveteraas, U., Oglend, A., Steen, M., & Straume, H. M. (2021). Salmon trout, the forgotten cousin?. *Aquaculture Economics & Management*, 25(2), 159-176.
31. Mazzeo, M. J. (2002). Product choice and oligopoly market structure. *RAND Journal of Economics*, 221-242.
32. McCann, B. T., & Vroom, G. (2010). Pricing response to entry and agglomeration effects. *Strategic Management Journal*, 31(3), 284-305.
33. Moore, M. R., Gollehon, N. R., & Carey, M. B. (1994). Multicrop production decisions in western irrigated agriculture: the role of water price. *American Journal of Agricultural Economics*, 76(4), 859-874.
34. Oglend, A., & Tveteras, R. (2009). Spatial diversification in Norwegian aquaculture. *Aquaculture Economics & Management*, 13(2), 94-111.
35. Orhun, A. Y. (2013). Spatial differentiation in the supermarket industry: The role of common information. *Quantitative Marketing and Economics*, 11(1), 3-37.
36. Perlman, H., & Juárez-Rubio, F. (2010). Industrial agglomerations: the case of the salmon industry in Chile. *Aquaculture Economics & Management*, 14(2), 164-184.
37. Phillips, M., Subasinghe, R. P., Tran, N., Kassam, L., & Chan, C. Y. (2016). Aquaculture big numbers.
38. 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.

39. Salisbury, S. J., Daniels, R. R., Monaghan, S. J., Bron, J. E., Villamayor, P. R., Gervais, O., Fast, M. D., Sveen, L., Houston, R. D., Robinson, N., & Robledo, D. (2024). Keratinocytes drive the epithelial hyperplasia key to sea lice resistance in coho salmon. *BMC biology*, 22(1), 160.
40. Seim, K. (2006). An empirical model of firm entry with endogenous product-type choices. *The RAND Journal of Economics*, 37(3), 619-640.
41. Smith, S. M., Andersson, K., Cody, K. C., Cox, M., & Ficklin, D. (2017). Responding to a groundwater crisis: The effects of self-imposed economic incentives. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 4(4), 985-1023.
42. Tveteras, S., & Asche, F. (2008). International fish trade and exchange rates: an application to the trade with salmon and fishmeal. *Applied Economics*, 40(13), 1745-1755.
43. Vitorino, M. A. (2012). Empirical entry games with complementarities: an application to the shopping center industry. *Journal of Marketing Research*, 49(2), 175-191.
44. Zhu, T., & Singh, V. (2009). Spatial competition with endogenous location choices: An application to discount retailing. *QME*, 7(1), 1-35.

Anexo A.1. Estimación del Modelo 2

Variable	Coefficiente estimado
Tendencia	0,01243***
Dummy región de Aysén	-1,00013***
Dummy región de Magallanes	-0,16614**
Precio promedio mensual de exportación	0,00230
Distancia de la ACS al puerto más cercano	-0,03601***
Distancia de la ACS a la capital más cercana	0,07304***
Tasa de mortalidad acumulada móvil de 12 meses por ACS	-0,11001***
Acumulado de clasificaciones anaeróbicas por licencia en ACS	-0,02234***
Dummy 1-3 meses pre-descanso sanitario	-1,01740***
Dummy 1-3 meses post-descanso sanitario	0,00496***
Promedio móvil de 12 meses de licencias operativas por ACS	0,44072***
Área de agua por ACS	0,00521***
Interacciones estratégicas espaciales en la primera banda (0 a 6 millas)	
<i>Salmón del Atlántico sobre salmón del Atlántico</i>	0,01148***
<i>Salmón coho sobre salmón coho</i>	-0,16737***
<i>Trucha arcoíris sobre trucha arcoíris</i>	-0,75646***
<i>Salmón del Atlántico sobre salmón coho</i>	-0,04670***
<i>Salmón coho sobre salmón del Atlántico</i>	-0,10129***
<i>Salmón del Atlántico sobre trucha arcoíris</i>	-0,03268***
<i>Trucha arcoíris sobre salmón del Atlántico</i>	-0,07554***
<i>Salmón coho sobre trucha arcoíris</i>	-0,26553***
<i>Trucha arcoíris sobre salmón coho</i>	-3,69029***
Interacciones estratégicas espaciales en la segunda banda (6 a 45 millas)	
<i>Salmón del Atlántico sobre salmón del Atlántico</i>	-0,05152***
<i>Salmón coho sobre salmón coho</i>	-0,13231***
<i>Trucha arcoíris sobre trucha arcoíris</i>	-0,39004***
<i>Salmón del Atlántico sobre salmón coho</i>	0,09014***
<i>Salmón coho sobre salmón del Atlántico</i>	0,10052***
<i>Salmón del Atlántico sobre trucha arcoíris</i>	-0,02667***
<i>Trucha arcoíris sobre salmón del Atlántico</i>	-0,02822***
<i>Salmón coho sobre trucha arcoíris</i>	-0,26560***
<i>Trucha arcoíris sobre salmón coho</i>	-0,38332***
μ	-3,77695***
σ	0,10699

*p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01. Estimaciones estadísticamente significativas se reportan en negrita.

Anexo A.2. Estimación del Modelo 3

Variable	Coefficiente estimado
Tendencia	-0,02401***
Dummy región de Aysén	-1,25583***
Dummy región de Magallanes	0,29615***
Precio promedio mensual de exportación	0,00324***
Distancia de la ACS al puerto más cercano	-0,17460***
Distancia de la ACS a la capital más cercana	-0,05555***
Tasa de mortalidad acumulada móvil de 12 meses por ACS	-0,07705***
Acumulado de clasificaciones anaeróbicas por licencia en ACS	0,11204***
Dummy 1-3 meses pre-descanso sanitario	-1,00368***
Dummy ACS 1-3 meses post-descanso sanitario	-0,34602***
Promedio móvil de 6 meses de stock por licencia operativa en ACS	0,00340***
Área de agua por ACS	0,20127***
Interacciones estratégicas espaciales para la primera banda (0 a 6 millas)	
<i>Salmón del Atlántico sobre salmón del Atlántico</i>	0,11236***
<i>Salmón coho sobre salmón coho</i>	-0,58565***
<i>Trucha arcoíris sobre trucha arcoíris</i>	-0,51621***
<i>Salmón del Atlántico sobre salmón coho</i>	0,07255***
<i>Salmón coho sobre salmón del Atlántico</i>	-0,23987***
<i>Salmón del Atlántico sobre trucha arcoíris</i>	0,01791***
<i>Trucha arcoíris sobre salmón del Atlántico</i>	-0,15641***
<i>Salmón coho sobre trucha arcoíris</i>	-0,23826***
<i>Trucha arcoíris sobre salmón coho</i>	-0,67910***
Interacciones estratégicas espaciales para la segunda banda (6 a 45 millas)	
<i>Salmón del Atlántico sobre salmón del Atlántico</i>	0,03471***
<i>Salmón coho sobre salmón coho</i>	-0,08809***
<i>Trucha arcoíris sobre trucha arcoíris</i>	-0,13772***
<i>Salmón del Atlántico sobre salmón coho</i>	0,14395***
<i>Salmón coho sobre salmón del Atlántico</i>	0,00752***
<i>Salmón del Atlántico sobre trucha arcoíris</i>	-0,04348***
<i>Trucha arcoíris sobre salmón del Atlántico</i>	-0,04919***
<i>Salmón coho sobre trucha arcoíris</i>	-0,05337***
<i>Trucha arcoíris sobre salmón coho</i>	-0,14898***
μ	-4,58969***
σ	-0,85048***

*p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01. Estimaciones estadísticamente significativas se reportan en negrita.

Anexo A.3. Estimación del Modelo 4

Variable	Coefficiente estimado
Tendencia	0,01412***
Dummy región de Aysén	-0,42897***
Dummy región de Magallanes	0,50011***
Precio promedio mensual de exportación	0,00028***
Distancia de la ACS al puerto más cercano	-0,16025***
Distancia de la ACS a la capital más cercana	-0,12205***
Tasa de mortalidad acumulada móvil de 12 meses por ACS	-0,01108***
Acumulado de clasificaciones anaeróbicas por licencia en ACS	-0,00202***
Dummy 1-3 meses pre-descanso sanitario	-0,57500***
Dummy 1-3 meses post-descanso sanitario	-0,01757***
Promedio móvil de 12 meses de stock por licencia operativa en ACS	-0,15259***
Área de agua por ACS	0,18702***
Interacciones estratégicas espaciales para la primera banda (0 a 6 millas)	
<i>Salmón del Atlántico sobre salmón del Atlántico</i>	0,07772***
<i>Salmón coho sobre salmón coho</i>	0,01420***
<i>Trucha arcoíris sobre trucha arcoíris</i>	-0,41385***
<i>Salmón del Atlántico sobre salmón coho</i>	0,10507***
<i>Salmón coho sobre salmón del Atlántico</i>	0,02657***
<i>Salmón del Atlántico sobre trucha arcoíris</i>	0,07143***
<i>Trucha arcoíris sobre salmón del Atlántico</i>	-0,28867***
<i>Salmón coho sobre trucha arcoíris</i>	-0,01284***
<i>Trucha arcoíris sobre salmón coho</i>	-0,40757***
Interacciones estratégicas espaciales para la segunda banda (6 a 45 millas)	
<i>Salmón del Atlántico sobre salmón del Atlántico</i>	0,04756***
<i>Salmón coho sobre salmón coho</i>	-0,14517***
<i>Trucha arcoíris sobre trucha arcoíris</i>	-0,16286***
<i>Salmón del Atlántico sobre salmón coho</i>	0,07440***
<i>Salmón coho sobre salmón del Atlántico</i>	-0,06971***
<i>Salmón del Atlántico sobre trucha arcoíris</i>	-0,00142***
<i>Trucha arcoíris sobre salmón del Atlántico</i>	-0,01864***
<i>Salmón coho sobre trucha arcoíris</i>	-0,10594***
<i>Trucha arcoíris sobre salmón coho</i>	-0,12943***
μ	-4,86902***
σ	-2,12466***

*p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01. Estimaciones estadísticamente significativas se reportan en negrita.