



INSTITUTO DE
FOMENTO
PESQUERO

IFOP/DIA/Nº20/2019
SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO
AMBIENTE – GOBIERNO DE CHILE

Ant.: Documento RES. EX. N°7/ROL D-
103-2018 de fecha 06 de mayo 2019.

Adj.: Informe respuesta solicitada.

Mat.: Lo que indica.

Puerto Montt, 20 de mayo de 2019

A : Sra. Gabriela Tramón Pérez
Fiscal Instructora de la División de Sanción y Cumplimiento – Superintendencia
del Medio Ambiente

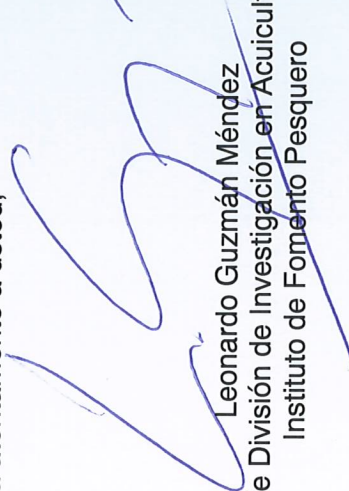
DE : Jefe División de Investigación en Acuicultura – Instituto de Fomento Pesquero

Por medio del presente adjunto remito a usted el Informe técnico que contiene la
respuesta solicitada según lo requerido en su documento mencionado en el Ant., el
cual fue recibido el día lunes 13 de mayo del presente.

Finalmente hago presente a usted, la disposición de este Instituto para aclarar o
complementar cualquier antecedente relacionado con esta materia.

Sin otro particular, saluda atentamente a usted,

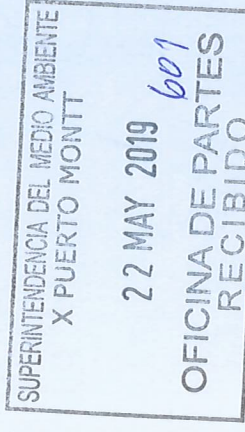



Leonardo Guzmán Méndez
Jefe División de Investigación en Acuicultura
Instituto de Fomento Pesquero

Distribución:

1. Superintendencia del Medio Ambiente – Gobierno de Chile
2. IFOP

c.c: DIR
DAF
DIA
CP
DMA
Gastón Vidal
Crono





INFORME

Efectos y consecuencias ambientales del escape de salmónidos ocurrido en el Centro Punta Redonda, Isla Guar, durante Julio de 2018.

SUPERINTENDENCIA DE MEDIO AMBIENTE / Mayo, 2019



EFFECTOS Y CONSECUENCIAS AMBIENTALES DEL ESCAPE DE SALMÓNIDOS OCURRIDO EN EL CENTRO PUNTA REDONDA, ISLA GUAR, DURANTE JULIO DE 2018.

1. Antecedentes generales

La acuicultura representa uno de los sectores productivos de mayor crecimiento a nivel global, donde el Salmón del Atlántico (*Salmo salar*) representa el ítem más significativo en términos de producción (Bostock *et al.*, 2010). El cultivo de esta especie comenzó en Noruega, a fines de los años '60, y luego se estableció como una industria importante en varios países del mundo, incluyendo algunos del hemisferio sur donde *Salmo salar* es una especie exótica, y donde Chile es el principal productor. La producción chilena de *Salmo salar*, alcanzó las 633,2 mil t. en el año 2018, concentrándose en las regiones de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo y Los Lagos, con 318,3 mil t. y 248,7 mil t., respectivamente (SUBPESCA, 2019). *Salmo salar* representa el 75,1% del total de salmón cosechado en Chile (SUBPESCA, 2019), contribuyendo importadamente a la producción de *Salmo salar* a nivel mundial.

Producto de esta industria, a nivel global, cientos de miles o millones de salmones escapan anualmente de las jaulas donde son cultivados (Glover *et al.*, 2017). Estudios realizados en el hemisferio norte indican que, una vez que los peces escapan desde los centros de cultivo, una proporción importante de éstos no son recuperados debido a que mueren como consecuencia de depredación (Whoriskey *et al.*, 2006), enfermedades parasitarias (Vollset *et al.*, 2016), inanición (Hislop & Webb, 1992) o por otras causas no documentadas. Sin embargo, una fracción de los peces escapados logra sobrevivir alimentándose en el mar, y más tarde, migran hacia los ríos durante el periodo reproductivo, generando diversos efectos ambientales (Hansen & Jacobsen, 2003; Jensen *et al.*, 2013).

Los salmónidos escapados desde las jaulas localizadas en el mar exhiben comportamientos variados (Hansen, 2006; Skilbrei, 2010a, b; Skilbrei *et al.*, 2015). No obstante, en todos los casos subyace una clara relación entre la intensidad de la producción de la acuicultura local y la proporción de peces escapados, la cual ha sido reportada en ríos noruegos (Fiske *et al.*, 2006; Diserud *et al.*, 2019) y canadienses (Keyser *et al.*, 2018). Sin embargo, la ausencia de programas de monitoreo imposibilita investigar el efecto e impactos de los escapes de salmones en una escala espacio-temporal adecuada y en contextos ambientales complejos, especialmente, en aquellos ecosistemas donde estas especies han sido introducidas (e.g. Glover *et al.*, 2019).

Los escapes de salmónidos ocurren en todos los estadios de su ciclo de vida. Desde las jaulas ubicadas en el mar, los peces escapan debido a fallas estructurales en las instalaciones (Jensen *et al.*, 2010), por errores de manipulación en el transcurso del tratamiento de los pijos de mar (*Caligus*), durante el transporte de peces entre los centros de cultivo y, además, los peces escapan directamente hacia los ríos que sustentan la producción de los estadios juveniles a través de los desagües (Clifford *et al.*, 1998; Carr & Whoriskey, 2006; Ferguson *et al.*, 2007; Gilbey *et al.*, 2018). En consecuencia, los



salm3nidos escapados han sido reportados en ecosistemas marinos y dulceacuícolas en países productores de salm3n, y tambi3n en áreas geográficas donde los salm3nes son cultivados (Thorstad *et al.*, 2008; Glover *et al.*, 2017).

Los eventos de escape no son reportados en su totalidad a pesar de lo indicado en la legislaci3n vigente, en muchos países acuicultores. Por este motivo, el número total de peces escapados podría ser aún mayor, como ocurre en Noruega, donde se estima que el número de peces escapados fue 2 a 4 veces el número informado oficialmente durante el periodo comprendido entre los años 2005 y 2011 (Sægrov & Urdal, 2006, Skilbrei *et al.*, 2015; Diserud *et al.* 2019). Además, estas anomalías pueden ser reconocidas a través de herramientas moleculares, las cuales permiten la trazabilidad de los individuos escapados con el fin de identificar los centros de procedencia de los individuos de vida libre (Glover *et al.*, 2008; Glover, 2010). En el caso de Chile, los eventos de escape y el número de peces escapados han sido documentados en Sepúlveda *et al.*, (2009); Soto *et al.*, (2001), a partir de lo cual se logra identificar el evento de Isla Guar como el tercer escape de mayor envergadura documentado para *Salmo salar* en Chile, a partir del año 1993 hasta el presente año.

Históricamente, se ha intentado introducir poblaciones de Salm3n del Atlántico en el mundo sin resultados satisfactorios. Lo anterior radica, principalmente, en que *Salmo salar* no es considerada una buena especie colonizadora fuera de su rango de distribuci3n nativo. En consecuencia, se supone una baja probabilidad de que este salm3nido establezca poblaciones donde es una especie ex3tica. Sin embargo, los escapes de salm3nes desde los centros de cultivo constituyen una fuente creciente y constante para la presi3n de propágulo de *Salmo salar* (Habit & Cussac, 2016; Arismendi *et al.*, 2014; Lockwood *et al.*, 2005), la cual debiera ser tratada como una especie potencialmente invasora en Chile (G3mez-Uchida *et al.*, 2018).

Ciertamente, las condiciones ambientales para que *Salmo salar* se establezca en los ecosistemas chilenos son cada vez más favorables. Las razones de las invasiones por salm3nidos en Chile podrían estar relacionadas con la buena calidad del agua de los ríos y lagos invadidos, una baja o nula presi3n por competencia y depredaci3n que ejerce la ictiofauna nativa (Campos *et al.*, 1998; Soto *et al.*, 2001; Habit *et al.*, 2015), y el incremento de la presi3n de propágulo como resultado de los frecuentes escapes de peces a una tasa que podría ser del orden de 1,5 individuos por cada tonelada producida a nivel paíse y 5,6 individuos calculados por tonelada producida en la Regi3n de Ays3n (Niklitschek *et al.*, 2013).



2. Efectos ambientales del escape de *Salmo salar* con énfasis en el Seno y Estero de Reloncaví y cuencas hidrográficas aledañas

El cultivo de Salm3n del Atlántico no ha ocurrido libre de efectos ambientales. Los escapes masivos de *Salmo salar* en áreas donde esta especie es ex3tica, tienen una serie de efectos ambientales que han sido pobremente estudiados tanto en ambientes marinos como de aguas continentales. En términos generales, el escape de salm3nes tiene graves consecuencias ambientales que pueden ser descritas de acuerdo a las distintas escalas espaciales y temporales en las ocurren. Partiendo desde el ecosistema marino donde se ubican las jaulas, inmediatamente después del escape, hasta el asilvestramiento de la especie en los ecosistemas dulceacuicolas. Los efectos del escape de salm3nes son diversos y complejos, y necesariamente deben ser analizados en un contexto ambiental donde todos los factores y sus interacciones estén incluidos.

De acuerdo a la Res. Ex. N° 4821 26/10/2018 SUBPESCA, el plan de contingencia puesto en marcha por Marine Harvest permiti3 recapturar solamente 38.286 individuos, equivalente al 5,54% del total de ejemplares fugados. Este porcentaje, inferior al 10% establecido por la Ley de Pesca, permite presumir daño ambiental conforme a la ley N° 19.300, que derivaría del remanente de peces libres en las inmediaciones del área de emplazamiento del centro de cultivo. Las causas de este daño ambiental, real o potencial, y los distintos mecanismos que lo generan, así como las distintas escalas espaciales y temporales en que operan, son aspectos descritos a continuaci3n.

2.1. Efectos del escape masivo de Salm3n del Atlántico en el corto plazo (días o semanas transcurridas desde el escape).

De la proporci3n de peces no recuperados (libres), una fracci3n indeterminada fue capturada por pescadores locales en distintos puntos del Estuario y Seno de Reloncaví para su comercializaci3n y consumo. Similarmenete a lo documentado en ecosistemas del hemisferio norte, una parte importante del remanente de los peces habría muerto por distintas causas (Fleming *et al.*, 2000), entre ellas, la depredaci3n (Whoriskey *et al.*, 2006), inanici3n (Hislop & Webb, 1992), y enfermedades parasitarias (Vollset *et al.*, 2016).

En el Seno de Reloncaví, el dep3sito masivo de las fecas del lobo de mar (*Otaria flavescens*), depredador comúen en las áreas de cultivo de *Salmo salar* (Vilata *et al.*, 2010; Sepúlveda & Oliva, 2005) y los peces muertos en el fondo marino, conllevaría a la incorporaci3n de distintos elementos (e.g. nutrientes, pesticidas, antibióticos), alterando el funcionamiento de las comunidades bentónicas y las características físicas y químicas del hábitat (Milewski, 2001). El incremento de nitr3geno en las áreas donde existe salmonicultura ha sido bien documentado en los ecosistemas chilenos (ver Buschmann *et al.* 2006). Sin embargo, el aumento de la concentraci3n de éste y otros nutrientes, como el f3sforo, su tiempo de persistencia y el efecto sobre la biota bentónica marina, son aspectos aún no evaluados en profundidad en los ecosistemas chilenos. En el caso de los productos utilizados en el tratamiento de enfermedades generadas por parásitos (e.g. *Caligus*), Aznar-Alemaný & Barceló (2017) encontraron piretroides, un tipo de pesticida, almacenados en tejido muscular de *Salmo salar* producido en Chile, destacando que este tipo de



compuestos tendrían una serie de efectos que requieren ser estudiados en distintos niveles tróficos.

De acuerdo a Soto *et al.* (2001) y Soto *et al.*, 2004, la proporción de peces libres posiblemente han sobrevivido alimentándose de pellet y depredando peces nativos marinos y estuarinos. Sin embargo, resultados generados por el Programa de Monitoreo y Seguimiento de Enfermedades de Alto Riesgo en Peces Silvestres y Ferales obtenidos desde cuerpos de agua dulce y mar desde la Región de La Araucanía a la Región de Magallanes, del total de ejemplares capturados desde el año 2014 al año 2018, un 5% (44 individuos) correspondió a salmónidos, registrándose 9 individuos de *Salmo salar*, y en uno de ellos se reportó con peces como contenido gástrico (IFOP, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018). Además, en relación a los hábitos alimentarios de los individuos escapados de *Salmo salar*, éstos permanecerían alimentándose en las cercanías de los centros de cultivo (Hammoutene *et al.*, 2018), como resultado de la alta fidelidad de sitio que exhibe esta especie aun cuando se trata de individuos cultivados (Olsen & Skilbrei 2010; Soto *et al.*, 2001).

2.2. Efectos del escape de Salmón del Atlántico en el mediano y largo plazo.

A pesar de que *Salmo salar* es una especie que permanecería en las cercanías de las jaulas cuando logra escapar de éstas, es una especie potencialmente migratoria fuera de su rango de distribución nativo y de naturaleza anádroma. Los individuos sobrevivientes podrían continuar depredando peces e invertebrados en el ecosistema marino y estuarino, y también desplazarse en la búsqueda de recursos y hábitats compatibles con los requerimientos ecológicos de los distintos estadios de su ciclo de vida. Una vez que los individuos alcanzan su madurez sexual, podrían migrar hacia los hábitats fluviales óptimos para el desove, los cuales corresponden a los tramos superiores de los ríos que, en la Provincia de Llanquihue, forman parte de pequeñas cuencas, algunas de ellas protegidas por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado (*i.e.* río Chamiza que se encuentra en el Parque Nacional Alerce Andino).

Los individuos de *Salmo salar* pueden morir en los hábitats de desove o retornar al mar, lo cual depende del estadio del ciclo de vida en que se encuentren los individuos, o también podría ocurrir que individuos maduros sexualmente mueran sin desovar. De cualquier modo, los individuos que mueren en los ríos, suponen un aporte importante de nutrientes, especialmente fósforo, y compuestos contaminantes (e. g. antibióticos, pesticidas), incluyendo compuestos orgánicos persistentes (COP's) que los peces bioacumulan durante su desarrollo en el mar (ver Montory & Barra, 2006; Montory *et al.*, 2010; Bernsteen *et al.*, 2011).

Por otro lado, si los individuos de *Salmo salar* logran completar su ciclo reproductivo y generar descendencia reproductiva, constituiría el comienzo del proceso de naturalización o asilvestramiento de esta especie en Chile. Cabe destacar que no existen evidencias de poblaciones reproductivas de *Salmo salar*. no existen registros de desove y la presencia de individuos juveniles solamente se restringe a ríos donde existe cultivo de esta especie, por lo que corresponderían a juveniles escapados desde los centros (Orellana, 2010). Adicionalmente, análisis genéticos de ancestría basados en SNP's (Polimorfismo de un



s3lo nucle3tido) realizados en ejemplares de *Salmo salar* capturados entre las regiones de la Araucan3a y Magallanes, sugieren que los individuos de vida libre est3n emparentados con los individuos que conforman las poblaciones de cultivo m3s comunes utilizadas por la industria salmonicultura de Chile (IFOP, 2017).

La presencia de estadios tempranos de *Salmo salar* en los r3os (i.e. escapados desde los centros y/o derivados de la reproducci3n de la especie) generaría efectos directos e indirectos sobre las especies nativas de peces, y sobre las comunidades de invertebrados bent3nicos que forman parte de la dieta de peces. Los resultados de Young *et al.* (2009) muestran un complejo escenario en que las interacciones tr3ficas entre dos especies de salm3nidos impactan a las poblaciones de la peladilla (*Aplocheilichthys zebra*), un gal3xido nativo de Chile. Las larvas y juveniles de *Salmo salar* son depredadas por la trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) lo que incrementa el tama1o poblacional de éstas y con esto tambi3n el impacto tr3fico sobre *Aplocheilichthys zebra*. Adem3s, los estadios juveniles de *Salmo salar* se alimentan preferentemente de larvas de los Ordenes Diptera, Ephemeroptera y Crustacea (Orellana, 2010), que a su vez constituyen parte de la dieta de peces nativos, lo que podr3a resultar en la declinaci3n local de las poblaciones de gal3xidos y sil3ridos que ya experimentan estresores derivados de la invasi3n de otros salm3nidos, potencialmente debido a la microalga declarada plaga *Didymosphenia geminata* (Salvo & Oyanedel, 2019, en revisi3n), y la actividad antr3pica. Efectos m3s claros a3n, est3n experimentando las poblaciones de puye grande (*Galaxias platei*) que han disminuido un 99% su tama1o poblacional en el 3ltimo siglo debido a la introducci3n de especies ex3ticas, espec3ficamente, los salm3nidos¹.

¹ <https://www.terram.cl/2019/04/estudio-determina-preocupante-efecto-de-salmones-sobre-especie-nativa-del-sur-de-chile/>



3. Conclusiones

Los escapes de salm3nidos generan efectos ambientales de distinta naturaleza, que van desde perturbaciones sobre la fauna nativa hasta alteraciones de las actividades econ3micas locales. El evento de Isla Guar es reconocido como el tercer escape de mayor envergadura documentado para *Salmo salar* en Chile. Aun cuando los antecedentes para determinar los efectos ambientales son escasos, en base a la gran cantidad de estudios existentes en ecosistemas europeos y norteamericanos, es posible dilucidar ciertos efectos potenciales de este evento, tanto en el ecosistema marino como en los ecosistemas de aguas continentales.

El escape de *Salmo salar* desde el centro de cultivo localizado en Isla Guar, dada la alta incertidumbre sobre el estado actual de los individuos no recuperados, es posible presumir da1o ambiental dentro de un corto periodo (d3as a semanas transcurridas luego del escape) basado en que:

- Los individuos de *Salmo salar* actuar3an como depredadores de especies nativas marinas que constituyen recursos hidrobiol3gicos locales.
- La mortandad masiva de individuos originaría el ingreso de nutrientes y compuestos como antibi3ticos y pesticidas, en el h3bitat bent3nico causando alteraciones en los ciclos biogeoquímicos y el funcionamiento de las comunidades bent3nicas.
- *Salmo salar* podr3a introducir pat3genos en los ecosistemas donde es liberado y alterar patrones de enfermedades, pudiendo convertirse en vectores de enfermedades virales, bacterianas y/o parasitarias.
- Incremento de abundancia de individuos libres de *Salmo salar*, conllevar3a a una mayor oferta alimentaria para depredadores como los lobos de mar, aumentando la abundancia de esta especie de mamífero y con esto la probabilidad de ataques a las jaulas.

Por otro lado, dentro del mediano y largo plazo (meses a a1os transcurridos desde el evento de escape) y en una escala espacial media a alta (ecosistemas estuarinos y dulceacu3colas), algunos efectos de mayor complejidad ambiental que podr3an ser evidenciados, son:

- Bajo el supuesto de que los individuos de *Salmo salar* ingresan a los r3os con una mayor conectividad con el Seno y Estero de Reloncav3, para desovar y culminar su periodo reproductivo, se esperan efectos deletéreos sobre los peces nativos (e.g. los gal3xidos *Galaxias platei* y *Aplochiton zebra*) ya sea como consecuencia de depredaci3n directa o favoreciendo a otros salm3nidos icti3fagos (i.e. *Oncorhynchus mykiss* o trucha arco3ris), como resultado de exclusi3n competitiva por h3bitat, o alterando las caracter3sticas del h3bitat.
- Luego del periodo reproductivo de los salm3nidos, los individuos mueren generando importantes entradas de nutrientes proveniente de los cadáveres de los salm3nes (siendo el f3sforo el m3s relevante en r3os) y contaminantes (e.g. compuestos orgánicos persistentes), compuestos que pueden alterar el funcionamiento, el grado de conservaci3n y la calidad del agua de los r3os, especialmente aquellos que



constituyen la fuente de agua potable en poblados costeros, que albergan especies en alg3n estado de conservaci3n o que se encuentran dentro del SNASPE.

- Los ecosistemas marinos y estuarinos del Seno y Estero de Reloncav3, y los ecosistemas dulceac3ucolas cuyos r3os desembocan en esta 3rea, se encuentran en un alto riesgo de invasi3n asociado a la intensa presi3n de prop3gulo que experimentan debido a los frecuentes escapes de *Salmo salar*, y a los escasos atributos ecol3gicos de las comunidades receptoras para resistir las invasiones de salm3nidos.
- Si bien, *Salmo salar* no exhibe evidencias de asilvestramiento en Chile, existir3a una alta probabilidad de que la especie logre reproducirse, establecer poblaciones y luego convertirse en una nueva especie ex3tica debido al gran n3mero de individuos libres como consecuencia de los escapes, y a los atributos ecol3gicos de las poblaciones de peces nativos presentes en el 3rea que no muestran mecanismos de resistencia frente a este tipo de especies invasoras.



4. Literatura citada

- Arismendi, I., Penaluna, B., Dunham, J., Garc3a De Leaniz, C., Soto D., et al. 2014. Differential invasion success of introduced salmonids in Southern Chile: patterns and hypotheses. *Rev Fish Biol Fish* 24:919–941.
- Aznar-Alemayn 3, Eljarrat E, Barcel3 D (2017) Effect of pyrethroid treatment against sea lice in salmon farming regarding consumers' health. *Food Chem Toxicol* 105:347–354.
- Berntssen, M., A. Maage, K. Julshamn, B.E. Oeye, A.-K. Lundebye. 2011. Carry-over of dietary organochlorine pesticides, PCDD/Fs, PCBs, and brominated flame retardants to Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fillets. *Chemosphere* 83:95–103.
- Bostock, J. et al. 2010 *Aquaculture: global status and trends*. *Phil. Trans. R. Soc. B* 365, 2897–2912. (doi:10.1098/rstb.2010.0170).
- Buschmann, A., V. Riquelme, M. Hern3ndez-Gonz3lez, D. Varela, J. Jim3nez, L. Henr3quez, P. Vergara, R. Gu3ñez & L. Fil3n. 2006. A review of the impacts of salmon farming on marine coastal ecosystems in the southeast Pacific. *ICES J. Mar. Sci.*, 63 (2006), pp. 1338–1345.
- Campos, H., G. Dazarola, B. Dyer, L. Fuentes, J. Gavi3n, L. Huaqu3n, G. Mart3nez, R. Mel3ndez, G. Peque3o, F. Ponce, V. Ruiz, W. Stiefeld, D. Soto, R. Vega & I. Vila. 1998. Categor3as de conservaci3n de peces nativos de aguas continentales de Chile. *Bolet3n del Museo Nacional de Historia Natural (Chile)* 47:101–122.
- Carr, J. W., and Whoriskey, F. G. 2006. The escape of juvenile farmed Atlantic salmon from hatcheries into freshwater streams in New Brunswick, Canada. *ICES Journal of Marine Science*, 63: 1263–1268.
- Case, T. 1991. Invasion resistance, species build-up, and community collapse in metapopulation models with interspecies competition. *Biological Journal of the Linnean Society* 42: 239–266.
- Clifford, S. L., McGinnity, P., and Ferguson, A. 1998. Genetic changes in an Atlantic salmon population resulting from escaped juvenile farm salmon. *Journal of Fish Biology*, 52: 118–127.
- Diserud, O. H., Fiske, P., S3egrov, H., Urdal, K., Aronsen, T., Lo, H., Barlaup, B. T., Niemela ; E., Orell, P., Erkinaro, J., Lund, R. A., 3kland, F., 3stborg, G. M., Hansen, L. P., & Hindar, K. Escaped farmed Atlantic salmon in Norwegian rivers during 1989–2013. – *ICES Journal of Marine Science*, doi:10.1093/icesjms/fsy202.
- Ferguson A, Fleming I, Hindar K, Skaala 3, McGinnity P, Cross TF, Prod3hl P (2007) Farm escapes. In: Verspoor E, Stradmeyer L, Nielsen JL (eds) *The Atlantic salmon: genetics, conservation and management*. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, p 357–398
- Fiske, P., Lund, R. A., and Hansen, L. P. 2006. Relationships between the frequency of farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in wild salmon populations and fish farming activity in Norway, 1989–2004. *ICES Journal of Marine Science*, 63: 1182–1189.
- Fleming, I. A., Hindar, K., Mj3lner3d, I. B., Jonsson, B., Balstad, T., & Lamberg, A. (2000). Lifetime success and interactions of farm salmon invading a native population. *Proceedings of the Royal Society of London B—Biological Science*, 267(1452), 1517–1523.
- Gilbey, J., Cauwelier, E., Sampayo, J., Matejusova, I., Allan, C., Graham, J., Stradmeyer, L. et al. 2018. Identification of the farm of origin of Atlantic salmon smolt escapees in a freshwater Scottish loch using single nucleotide polymorphism markers. *ICES Journal of Marine Science*, 75: 2182–2192.



- Glover, K. A., Skilbrei, O. T., and Skaala, O. 2008. Genetic assignment identifies farm of origin for Atlantic salmon *Salmo salar* escapees in a Norwegian fjord. *ICES Journal of Marine Science*, 65: 912–920.
- Glover, K. A. 2010. Forensic identification of fish farm escapees: the Norwegian experience. *Aquaculture Environment Interactions*, 1:1–10.
- Glover, K. A., Solberg, M. F., McGinnity, P., Hindar, K., Verspoor, E., Coulson, M. W., Svåsand, T. 2017. Half a century of genetic interaction between farmed and wild Atlantic salmon: Status of knowledge and unanswered questions. *Fish and Fisheries*, 18(5), 890–927.
- Glover, K. A., Urdal, K., Næsje, T., Skoglund, H., Florø-arsen, B., Ottera°, H., Fiske, P., Heino, M., Aronsen, T., Sægrov, H., Diserud, O., Barlaup, B. T., Hindar, K., Bakke, G., Solberg, I., Lo, H., Solberg, M. F., Karlsson, S., Skaala, Ø., Lamberg, A., Kanstad-anssen, Ø., Muladal, R., Skilbrei, O. T., and Wennevik, V. 2019. Domesticated escapees on the run: the second-generation monitoring programme reports the numbers and proportions of farmed Atlantic salmon in >200 Norwegian rivers annually. – *ICES Journal of Marine Science*, doi:10.1093/icesjms/fsy207.
- G3mez-Uchida, D., M Sepúlveda, B Ernst, TA Contador, S Neira, C Harrod. Chile's salmon escape demands action. *Science* 361 (6405): 857-858
- Habit, E, Gonz3lez, J., Ortiz-Sandoval, J., Elgueta, A., Sobenes, C. 2015. Efectos de la invasi3n de peces en r3os y lagos de Chile. *Ecosistemas* 24(1): 43-51.
- Habit, E. & V. Cussac. 2016. Conservation of the freshwater fauna of Patagonia: an alert to the urgent need for integrative management and sustainable development. *Journal of Fish Biology*. doi:10.1111/jfb.12882.
- Hamoutene, D., D. Cote, K. Marshall, S. Donnet, S. Cross, L. Hamilton, S. McDonald, K. Clarke, C. Pennell. 2018. Spatial and temporal distribution of farmed Atlantic salmon after experimental release from sea cage sites in Newfoundland (Canada). *Aquaculture*. 492: 147-156.
- Hansen, L. P., and Jacobsen, J. A. 2003. Origin and migration of wild and escaped farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in oceanic areas north of the Faroe Islands. *ICES Journal of Marine Science*, 60: 110–119.
- Hansen, L. P. 2006. Migration and survival of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) released from two Norwegian fish farms. *ICES Journal of Marine Science*, 63: 1211.
- Hislop, J. R. G., and Webb, J. H. 1992. Escaped farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., feeding in Scottish coastal waters. *Aquaculture and Fisheries Management*, 23: 721–723.
- Instituto de Fomento Pesquero (2014) Evaluaci3n y seguimiento de la situaci3n sanitaria de especies silvestres en agua dulce y mar. Informe Final, Convenio de Desempeño 2013. Subsecretar3a de Econom3a y Empresas de menor Tamaño. Chile.
- Instituto de Fomento Pesquero (2015) Evaluaci3n y seguimiento de la situaci3n sanitaria de especies silvestres en agua dulce y mar. Informe Final, Convenio de Desempeño 2014. Subsecretar3a de Econom3a y Empresas de menor Tamaño. Chile.
- Instituto de Fomento Pesquero (2016) Evaluaci3n y seguimiento de la situaci3n sanitaria de especies silvestres en agua dulce y mar. Informe Final, Convenio de Desempeño 2015. Subsecretar3a de Econom3a y Empresas de menor Tamaño. Chile.
- Instituto de Fomento Pesquero (2017) Evaluaci3n y seguimiento de la situaci3n sanitaria de especies silvestres en agua dulce y mar. Informe Final, Convenio de Desempeño 2016. Subsecretar3a de Econom3a y Empresas de menor Tamaño. Chile.



- Instituto de Fomento Pesquero (2018) Evaluación y seguimiento de la situación sanitaria de especies silvestres en agua dulce y mar. Informe Final, Convenio de Desempeño 2017. Subsecretaría de Economía y Empresas de menor Tamaño. Chile.
- Jensen, O., Dempster, T., Thorstad, E. B., Uglem, I., and Fredheim, A. 2010. Escapes of fishes from Norwegian sea-cage aquaculture: causes, consequences and prevention. *Aquaculture Environment Interactions*, 1: 71–83.
- Jensen, A. J., Karlsson, S., Fiske, P., Hansen, L. P., Hindar, K., and Ostborg, G. M. 2013. Escaped farmed Atlantic salmon grow, migrate and disperse throughout the Arctic Ocean like wild salmon. *Aquaculture Environment Interactions*, 3: 223–229.
- Lockwood J.L., Cassey P., Blackburn T (2005) The role of propagule pressure in explaining species invasions. *Trends Ecol Evol* 20:223–228.
- Keyser, F., Wringe, B. F., Jeffery, N. W., Dempson, J. B., Duffy, S., and Bradbury, I. R. 2018. Predicting the impacts of escaped farmed Atlantic salmon on wild salmon populations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 75: 506–512.
- Milewski, I. 2001. Impacts of salmon aquaculture on the coastal environment: a review. In Tlusty, M. F., Bengston, D. A., Halvorson, H. O., Oktay, S. D., Pearce, J. B., and Rheault Jr., R. B. (eds.), *Marine Aquaculture and the Environment: A Meeting for Stake-holders in the Northeast*. Cape Cod Press, Falmouth, Massachusetts. Pp. 166–197.
- Montory, M. & R. Barra. 2006. Preliminary data on polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in farmed fish tissues (Salmo salar) and fish feed in Southern Chile. *Chemosphere*, 63, pp. 1252-1260.
- Montory, M., E. Habit, P. Fernandez, J. Grimalt & R. Barra. 2010. PCBs and PBDEs in wild Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in the Northern Patagonia, Chile. *Chemosphere* 78: 1193–1199.
- Niklitschek, E. J., Soto, D., Lafon, A., Molinet, C. and Toledo, P. (2013), Southward expansion of the Chilean salmon industry in the Patagonian Fjords: main environmental challenges. *Rev Aquacult*, 5: 172-195. doi:10.1111/raq.12012
- Olsen, R.E., Skilbrei, O.T., 2010. Feeding preference of recaptured Atlantic salmon *Salmo salar* following simulated escape from fish pens during autumn. *Aquaculture Environment Interactions*. 1, 167-174.
- Orellana, G. 2010. Evaluación de hábitos alimenticios de salmónidos escapados y asilvestrados de vida libre en ríos y lagos del sur de Chile. Tesis para optar al Título de Ingeniero en Acuicultura. Departamento de Ciencias Básicas, Laboratorio de Genética & Acuicultura. Universidad de los Lagos. 73 pp.
- Sægvog H, Urdal K (2006) Rømt oppdrettslaks i sjø og elv; mengd og opphav. (In Norwegian: 'Escaped farmed fish in the sea and in rivers; amount and origin'.) Report 947/06 21. Rådgivende Biologer AS, Bergen
- Sepúlveda M. & D. Oliva. 2005. Interactions between South American sea lions *Otaria flavescens* (Shaw) and salmon farms in southern Chile. *Aquaculture Research* 36, 1062 - 1068.
- Sepúlveda, M., Farias, F. Soto, E. 2009. Escapes de salmones en Chile. Eventos, impactos, mitigación y prevención. Valdivia, Chile: WWF.
- Skilbrei, O. T. 2010a. Adult recaptures of farmed Atlantic salmon post-smolts allowed to escape during summer. *Aquaculture Environment Interactions*, 1: 147–153.
- Skilbrei, O. T. 2010b. Reduced migratory performance of farmed Atlantic salmon post-smolts from a simulated escape during autumn. *Aquaculture Environment Interactions*, 1: 117–125.



- Skilbrei, O. T., Heino, M., and Svåsand, T. 2015. Using simulated escape events to assess the annual numbers and destinies of escaped farmed Atlantic salmon of different life stages, from farms sites in Norway. *ICES Journal of Marine Science*, 72: 670–685.
- Soto, D., Jara, F. & Moreno, C. 2001. Escaped Salmon in the Inner Seas, Southern Chile: Facing Ecological and Social Conflicts. *Ecological Applications*, Vol. 11, No. 6. pp. 1750–1762.
- Soto D, Arismendi I, González J, Sanzana J, Jara F *et al.* 2006. Southern Chile, trout and salmon country: invasion patterns and threats for native species. *Rev Chil Hist Nat* 79:97–117.
- Thorstad, E. B., Fleming, I. A., McGinnity, P., Soto, D., Wennevik, V., and Whoriskey, F. 2008. Incidence and impacts of escaped farmed Atlantic salmon *Salmo salar* in nature. *NINA Special Report*, 36. 110 pp.
- Vilata, J., Oliva, D., and Sepúlveda, M. 2010. The predation of farmed salmon by South American sea lions (*Otaria flavescens*) in southern Chile. – *ICES Journal of Marine Science*, 67: 475–482.
- Vollset, K. W., Krontveit, R. I., Jansen, P. A., Finstad, B., Barlaup, B. T., Skilbrei, O. T., Krkosek, M. *et al.* 2016. Impacts of parasites on marine survival of Atlantic salmon: a meta-analysis. *Fish and Fisheries*, 17: 714–730.
- Whoriskey, F.G., Brooking, P., Doucette, G., Tinker, S., and Carr, J.W. 2006. Movements and survival of sonically tagged farmed Atlantic Salmon released in Cobscook Bay, Maine, USA. *ICES J. Mar. Sci.* 63: 1218–1223
- Young K, Stephenson J, Terreau A, Thailly A-F, Gajardo G, *et al.* 2009. The diversity of juvenile salmonids does not affect their competitive impact on a native galaxiid. *Biological Invasions* 11: 1955–1961.