

Research Article

Evaluación de la efectividad del tratamiento con agua dulce para el control del piojo de mar *Caligus rogercresseyi* Boxshall & Bravo, 2000

Sandra Bravo¹, Veronica Pozo¹ & María Teresa Silva²

¹Instituto de Acuicultura, Universidad Austral de Chile, P.O. Box 1327, Puerto Montt, Chile

²Universidad San Sebastián, Lago Panguipulli 1390, Puerto Montt, Chile

Corresponding author: Sandra Bravo (sbravo@uach.cl)

RESUMEN. Para evaluar la tolerancia de *Caligus rogercresseyi* al tratamiento con agua dulce, se recolectaron parásitos desde dos centros de cultivos localizados en el área de Calbuco, sur de Chile. El primer estudio se realizó en diciembre 2012 en un centro de cultivos ubicado en el Canal Huito, cuya salinidad fue de 26 y el segundo estudio se realizó en abril 2013 en un centro de cultivos en el Canal Chidhuapi, donde la salinidad fue de 32. En el primer estudio se evaluó la tolerancia de hembras y machos adultos de *C. rogercresseyi* al agua dulce y también la tolerancia de esta especie en truchas bañadas con agua dulce por 30 min de exposición. En el segundo estudio se evaluó la tolerancia de machos y hembras adultas a diferentes gradientes de salinidad, y también la tolerancia de copepoditos a la baja salinidad. En el primer estudio el 100% de los machos y hembras estuvieron inconscientes después de 30 min de exposición. Sin embargo, una vez que los parásitos inconscientes fueron retornados a agua de mar se registró una supervivencia de 93% en machos, 73% en hembras ovígeras y 100% en hembras sin sacos. En el segundo estudio se registró una supervivencia de 45% en hembras y 20% en machos sometidos a salinidad de 15 por 24 h. Los copepoditos no sobrevivieron a salinidad de 25. La eficacia registrada en el desprendimiento de *C. rogercresseyi* en las truchas tratadas con agua dulce fue de 57%, con una mayor tolerancia de las hembras en comparación con los machos. Los parásitos colectados desde el sector con 26 de salinidad, mostraron mayor tolerancia al agua dulce en comparación con los parásitos colectados del sitio con 32 de salinidad.

Palabras clave: *Caligus rogercresseyi*, piojo de mar, salmónidos, salinidad, tolerancia agua dulce, sur de Chile.

Assessment of the freshwater treatment to control the sea lice *Caligus rogercresseyi* Boxshall & Bravo, 2000

ABSTRACT. Sea lice were collected from two salmon farms located in Calbuco, southern Chile to assess the tolerance of *Caligus rogercresseyi* to freshwater treatment. The first study was carried out in December 2012 in Huito Channel, where salinity reached 26. The second study was carried out in April 2013 in Chidhuapi Channel, where salinity reached 32. In the first study the tolerance of males and females exposed directly to freshwater was assessed, and also the tolerance of *C. rogercresseyi* infesting rainbow trout (*Oncorhynchus kisutch*) exposed to bath treatment with freshwater for 30 min. In the second study the tolerance of males and females to a different gradient of salinity was assessed, and also the tolerance of copepodids to reduced salinity. In the first study 100% of males and females were unconscious after 30 min of exposure. However, once they were returned to seawater the survival in males was 93%, 73% in gravid females and 100% in females without egg strings. In the second study a survival of 45% females was recorded and 20% males kept at salinity of 15 for 24 h. However, copepodids were not able to survive at a salinity of 25. The efficacy recorded in the detachment of *C. rogercresseyi* from rainbow trout treated with freshwater was only 57%, with a higher tolerance of females in comparison with males. Lice collected from the site with salinity of 26, showed major tolerance to freshwater compared with lice collected from the site with salinity of 32.

Keywords: *Caligus rogercresseyi*, sea lice, salmonids, salinity, freshwater tolerance, southern Chile.

INTRODUCCIÓN

Caligus rogercresseyi Boxshall & Bravo, 2000 es uno de los patógenos más importante y de mayor impacto económico que enfrenta la industria del salmón en Chile. Los daños económicos provocados por *Caligus* están relacionados con la pérdida de calidad del producto final, crecimiento retardado de los peces parasitados, incremento de la susceptibilidad frente a otros patógenos y costos generados por los tratamientos (Bravo, 2003; Johnson *et al.*, 2004; Costello, 2009).

A diferencia de *Lepeophtheirus salmonis* que parasita a salmones de vida silvestre en el hemisferio norte, los copépodos descritos para Chile son parásitos naturales de los peces marinos en el hemisferio sur. Los primeros reportes de *Caligus* en Chile datan de 1940 y entre los peces silvestres parasitados se destacan rayas, merluzas, lenguados, róbalo y pejerreyes entre otros (Fagetti & Stuardo, 1961; Stuardo & Fagetti, 1961). A la fecha se ha descrito para Chile ocho especies del género *Caligus* y 10 del género *Lepeophtheirus*, todos parásitos de peces marinos, pero solamente *Caligus teres*, en los inicios de la industria del salmón (Reyes & Bravo, 1983a, 1983b) y *Caligus rogercresseyi* a partir de 1997 (Boxshall & Bravo, 2000), han sido reportados como los parásitos de mayor riesgo sanitario para los salmones de cultivo en Chile.

C. rogercresseyi presenta ocho estados de desarrollo, tres planctónicos (dos estados de nauplius y un copepodito) y cinco estados de parasitismo (cuatro estados de chalimus y un estado adulto). El salmón del Atlántico (*Salmo salar*) y la trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) son las especies salmonídeas que han mostrado ser altamente susceptibles a *C. rogercresseyi*. Por el contrario, el salmón coho (*Oncorhynchus kisutch*) presenta resistencia bajo las mismas condiciones de cultivo, siendo parasitado solo por estadios juveniles (chalimus), que no logran alcanzar el estado adulto en esta especie salmonídea (Pino-Marambio *et al.*, 2007; Bravo, 2010).

Los primeros productos usados para el control de *Caligus* en Chile fueron aplicados por baño, hasta que en los años 1980s hicieron su aparición los tratamientos aplicados oralmente mediante el alimento. La ivermectina fue aplicada en Chile por un período de 10 años hasta que fue reemplazada por el benzoato de emamectina (Slice®), ambos productos con efecto sobre todos los estados de desarrollo del parásito. La ivermectina, fue prohibida a fines de los años 1990s, posterior a la aparición del Slice® en el mercado internacional, por su elevada toxicidad y efecto sobre el medio ambiente marino. En el período 2000-2007 solamente el benzoato de emamectina fue autorizado en Chile para el tratamiento de *Caligus*. Posterior a la

evidencia de resistencia desarrollada por *C. rogercresseyi* al benzoato de emamectina en el año 2007 (Bravo *et al.*, 2008b), se autorizó el piretroide deltametrina (AlphaMax®); en 2009 el inhibidor de quitina diflubenzuron; en 2010 el piretroide Cipermetrina (Betamax®) y a partir de marzo 2013 el organofosforado azametifos.

Los productos utilizados para el control del piojo de mar, corresponden a pesticidas que fueron inicialmente desarrollados para el control de parásitos en la ganadería. Todos tienen efectos adversos para el ambiente acuático si no son usados apropiadamente. Estos pesticidas deben tener la propiedad de matar al parásito, sin provocar toxicidad en el hospedador y deben ser inocuos para el medio ambiente, a las concentraciones y períodos de aplicación recomendados por los laboratorios que desarrollaron el producto. El mal uso de estos productos puede provocar problemas en el ambiente acuático y en los organismos vivos que habitan en las zonas circundantes si no son usados apropiadamente (Ait *et al.*, 2011; Kumar *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2011; Shen *et al.*, 2012). Sin embargo, uno de los grandes problemas que se han evidenciado en Chile y en otros países, es la pérdida de sensibilidad del piojo de mar frente al uso repetitivo de un mismo fármaco (Jones *et al.*, 1992; Denholm *et al.*, 2002; Sevatdal & Horsberg, 2003; Sevatdal *et al.*, 2005; Bravo *et al.*, 2008b; Helgesen *et al.*, 2014).

El más importante promotor de desarrollo de resistencia es la repetición de tratamientos utilizando el mismo principio activo, tal cual ocurrió con el benzoato de emamectina en Chile (Bravo *et al.*, 2008b). Los parásitos susceptibles mueren y los sobrevivientes (resistentes) transmiten los genes de resistencia a las sucesivas generaciones (Bravo *et al.*, 2010a). Los genes que transmiten resistencia se incrementan repetidamente por mutación. Sin embargo, también existe el riesgo de que estos parásitos se tornen multiresistentes, como ha sido documentado con los artrópodos y también en Noruega para *Lepeophtheirus salmonis* (Horsberg, 2010). La multiresistencia es difícil de controlar y esto podría dejar a la industria del salmón en una situación de total indefensión frente a los patógenos de alto riesgo que afectan a los salmones de cultivo en el mar.

Carvajal *et al.* (1998), reportaron pérdidas económicas por efecto de la desparasitación de *Caligus* de US\$ 0,3 por kg de pez. En el 2002 los costos de los tratamientos con benzoato de emamectina, considerando dos tratamientos por período de crianza en el mar, fueron de US\$ 0,022 por kg de pez, sin considerar los costos generados por la pérdida de calidad del producto, gastos incurridos en prevención y pérdida de peso entre otros (Bravo, 2003; Johnson *et al.*, 2004). De acuerdo a

cifras de uso de pesticidas proporcionadas por el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA) (Tabla 1) y de precios proporcionados por laboratorios farmacéuticos, los costos generados solo por la compra de pesticidas para el control de *Caligus* en 2013, fueron alrededor de US\$80 millones, equivalente a US\$ 0,10 por kg pez, cifra que fue 112% más alta que el año anterior. Estos valores no consideran los costos generados por la aplicación de los tratamientos ni otros efectos causados por la Caligidosis. Además del costo económico, el uso de pesticidas tiene asociado un costo ambiental, que no ha sido considerado por la industria y tampoco por las autoridades. Frente a este complejo escenario, la búsqueda de métodos alternativos para combatir al piojo de mar resulta prioritaria.

La salinidad ha mostrado tener un efecto importante sobre la supervivencia de *C. rogercresseyi*, esto ha llevado a que algunos centros de cultivos sean localizados en zonas estuarinas para evitar las infestaciones de los salmones por *Caligus*. Para *L. salmonis* se ha reportado una mayor tasa de crecimiento y una mayor tasa de asentamiento a salinidad de 34, comparado con salinidad de 24 (Tucker *et al.*, 2000). La salinidad también ha mostrado afectar la eclosión de huevos y el desarrollo de los estados de vida libre en *L. salmonis* (Wootten *et al.*, 1982). Johnson & Albright (1991) encontraron que los estados de nauplius no se desarrollan a salinidad <15 y que a salinidad <25 se obtuvieron nauplius menos activos, observándose mortalidad y problemas de muda en los copepoditos. En British Columbia se ha reportado que las larvas de *L. salmonis* no alcanzan el estado infeccioso a salinidad <30 (Brooks, 2005). Pike & Wadsworth (1999) señalaron que adultos de *L. salmonis* mueren a salinidad <12. Aun cuando la sobrevivencia de *L. salmonis* mejora a salinidades de 20-25, el desarrollo de los copepoditos es reducido a salinidad <30. Heuch *et al.* (1995) reportaron que los copepoditos de *L. salmonis* evitan sectores con salinidad <20.

En estudios realizados previamente en condiciones controladas de laboratorio, se encontró que adultos de *C. rogercresseyi* no logran sobrevivir por más de 30 min en agua dulce. A salinidad de 15 se reportó una sobrevivencia de 20% a las 24 h de exposición en parásitos colectados en zonas de alta salinidad (>25), en comparación al 80% de sobrevivencia registrado en parásitos colectados en zonas altamente influenciadas por agua dulce (<25), incidiendo en la intensidad de infestación (Bravo *et al.*, 2008a).

La sensibilidad mostrada por *C. rogercresseyi* motivó el desarrollo del presente estudio, para evaluar como alternativa viable de control, los tratamientos con baños de agua dulce.

Tabla 1. Volúmenes de pesticidas (ingrediente activo) utilizados para el control de *Caligus* en Chile. IA: ingrediente activo.

| AI (kg) | Año | | | | | | | | | | | | |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|--|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | | |
| EMB | 127 | 149 | 212 | 326 | 906 | 285 | 65 | 47 | 49 | 219 | 164 | | |
| Ivermectina | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Diflubenzuron | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 162 | 3.878 | 3.639 | 2.815 | 2.167 | 3.504 | | |
| Cipermetrina | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29,7 | 341,6 | 677 | 585 | | |
| Deltametrina | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,2 | 105,2 | 31,7 | 34,3 | 39,9 | 197 | 152 | | |
| Azametifos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.207 | | |
| Total IA | 127 | 149 | 212 | 326 | 911,2 | 552,2 | 3.974,7 | 3.750 | 3.245,5 | 3.260 | 7.612 | | |
| Salmón (ton) | 488.256 | 569.146 | 614.139 | 647.263 | 600.835 | 630.647 | 473.579 | 423.121 | 613.219 | 804.000 | 793.400 | | |

MATERIALES Y MÉTODOS

En diciembre 2012 y abril 2013 se realizaron estudios de tolerancia de *Caligus rogercresseyi* al agua dulce en centros de cultivos localizados en el área de Calbuco (41°44'S, 73°09'W). El primer estudio se efectuó en diciembre 2012, en un centro de cultivo ubicado en el Canal Huito, donde se realizaron dos experiencias. El segundo estudio se realizó en abril 2013, en un centro de cultivo ubicado en el Canal Chidhuapi, con salinidad de 32.

Estudios año 2012

Tolerancia de *Caligus* al agua dulce

Se colectaron 150 ejemplares adultos de *C. rogercresseyi* (machos, hembras con saco y hembras sin saco ovífero), desde truchas parasitadas, previamente sedadas con benzocaina. Los parásitos fueron depositados en un recipiente conteniendo agua de mar extraída del sector de cultivo. Para realizar el estudio con agua dulce, se distribuyeron 50 *Caligus* adultos por recipiente con aireación suplementaria, uno conteniendo agua de mar del sector de estudio (26) y los otros dos recipientes con agua dulce extraída desde un río cercano. Los parásitos fueron mantenidos por 30 min en agua dulce con aireación suplementaria, registrando sobrevivencia al final del período. Para verificar la real efectividad del agua dulce en el control de *Caligus*, los parásitos inconscientes fueron retornados a un contenedor con agua de mar fresca (26), con aireación suplementaria y se evaluó la sobrevivencia durante 30 min adicionales.

Tolerancia de *Caligus* a baños con agua dulce

Se capturaron 10 ejemplares de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*), los cuales fueron sedados con benzocaina (10% en etanol, 1 mL L⁻¹) para evaluar la carga parasitaria. La carga parasitaria fue registrada para cada pez y los parásitos fueron clasificados en machos, hembras sin saco, hembras con saco y chalmus. Los peces fueron medidos, pesados y posteriormente trasladados a un estanque de 0,6 m³, con 150 L de agua dulce, surtidos con aireación suplementaria. Los peces fueron mantenidos durante 30 min en agua dulce, posteriormente fueron nuevamente sedados y la carga de *Caligus* evaluada según el procedimiento descrito anteriormente, para determinar la eficacia del tratamiento con agua dulce.

Estudios año 2013

Tolerancia de *Caligus* a diferentes gradientes de salinidad

Se colectaron ejemplares adultos (machos y hembras) desde ejemplares de truchas parasitadas, previamente

sedadas con benzocaina (10% en etanol, 1 mL L⁻¹). Los ejemplares de *Caligus* fueron depositados en recipientes conteniendo agua de mar desde el lugar de captura y trasladados al laboratorio del Instituto de Acuicultura con aireación suplementaria. En el laboratorio, se distribuyeron 20 hembras y 20 machos en recipientes de 100 mL, con aireación suplementaria y con diferentes valores de salinidad (0, 10, 15, 20 y 30). La sobrevivencia se registró a 30 min, 1 h, 12 h y 24 h de exposición.

Para la preparación de las diferentes concentraciones de salinidad se utilizó agua de mar filtrada a salinidad de 30, que se diluyó con agua dulce obtenida desde un río cercano en el sector de Puerto Montt. La mezcla de agua dulce y mar fue homogenizada utilizando agitador magnético y medida con salinómetro digital YSI Mod. EC300CC-04. La temperatura fue registrada durante el período de estudio.

Tolerancia de copepoditos de *Caligus* a diferentes gradientes de salinidad

Para evaluar la tolerancia de los copepoditos de *C. rogercresseyi* al agua dulce, se colectaron hembras ovíferas desde ejemplares de salmón del Atlántico infectados, previamente sedados con benzocaina (10% en etanol, 1 mL L⁻¹). Las hembras se depositaron en contenedores con aireación suplementaria y se trasladaron al laboratorio, donde se extrajeron los sacos ovíferos, se traspasaron a contenedores con agua de mar filtrada a salinidad de 30, y se incubaron a temperatura (10°C) y fotoperíodo controlado (12 h luz; 12 h oscuridad), hasta la obtención de los copepoditos. Los copepoditos fueron cultivados a diferentes gradientes de salinidad (0, 5, 10, 15, 20, 25 y 30), y la sobrevivencia evaluada a diferentes tiempos de exposición (1 min, 10 min, 30 min, 12 h y 24 h).

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el primer estudio (2012) mostraron que los ejemplares adultos de *C. rogercresseyi* sometidos a tratamientos con agua dulce, sin el hospedador, quedan inconscientes a los 30 min de exposición. Sin embargo, al ser retornados nuevamente a agua de mar, el 93% mostró recuperación (Fig. 1). La eficacia de los tratamientos con agua dulce en truchas parasitadas fue sólo de 57%, registrándose una mayor eficacia en los machos (75%), respecto a las hembras (41%) (Fig. 2). Los resultados realizados en el segundo estudio (2013) mostraron que la sobrevivencia de las hembras fue de 45% y 20% en los machos mantenidos a salinidad de 15 por 24 h (Fig. 3). Los copepoditos no lograron sobrevivir a salinidad de 25 por más de 1 min (Fig. 4).

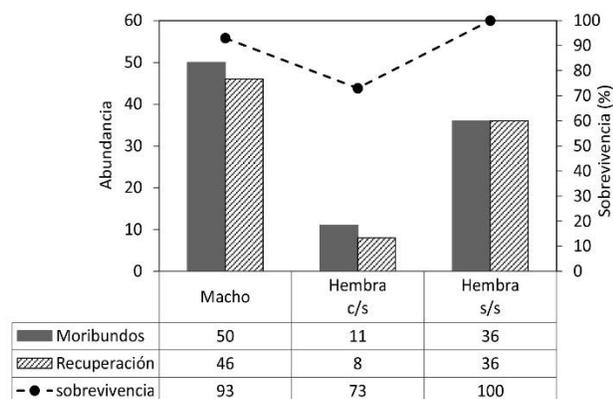


Figura 1. Sobrevivencia de ejemplares adultos de *Caligus rogercresseyi* sometidos a agua dulce (0 salinidad). Hembras c/s: hembras con sacos ovíferos, hembras s/s: hembras sin sacos ovíferos.

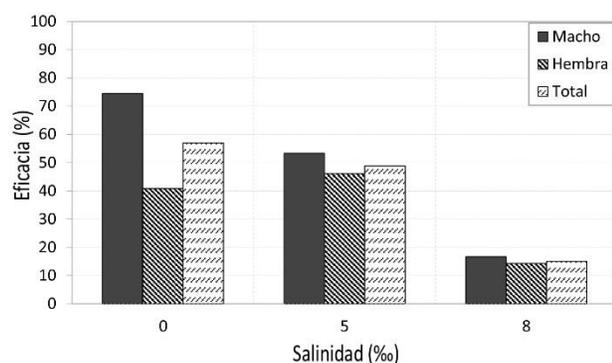


Figura 2. Eficacia de tratamientos con agua dulce en el control de *Caligus rogercresseyi*.

Experiencias efectuadas año 2012

Al finalizar el desafío de 30 min de exposición al agua dulce, el 100% de los piojos se observó sin movimiento en el fondo del recipiente a diferencia de los ejemplares mantenidos en agua de mar que mostraron una sobrevivencia del 100%. Una vez finalizado los 30 min de exposición en agua dulce, los parásitos retornados a agua de mar fresca (26) registraron una recuperación de 93% a los 30 min de exposición. Se registró un 93% de recuperación en los machos; 73% en las hembras con saco y 100% en las hembras sin saco (Fig. 1)

Los resultados obtenidos en el estudio dirigido a evaluar la tolerancia de *C. rogercresseyi* parasitando a trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*), sometidas a tratamientos con baños de agua dulce, mostraron una efectividad de 57% en la reducción de adultos totales con salinidad 0, 49% con salinidad 5 y 15% con salinidad 8. La mayor eficacia para las tres concentraciones se registró en los machos, resultando más tolerantes las hembras a la menor salinidad (Fig. 2).

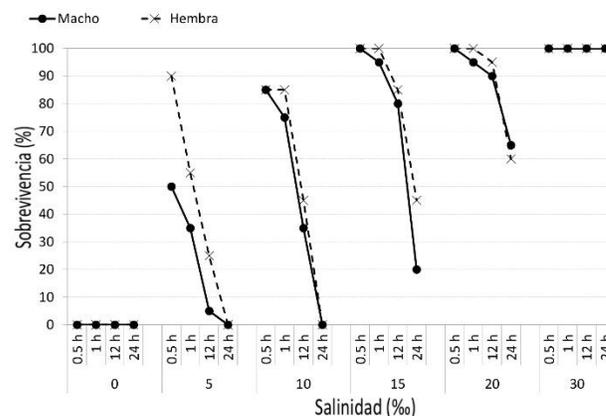


Figura 3. Sobrevivencia de machos y hembras de *Caligus rogercresseyi* expuestos a diferentes gradientes de salinidad.

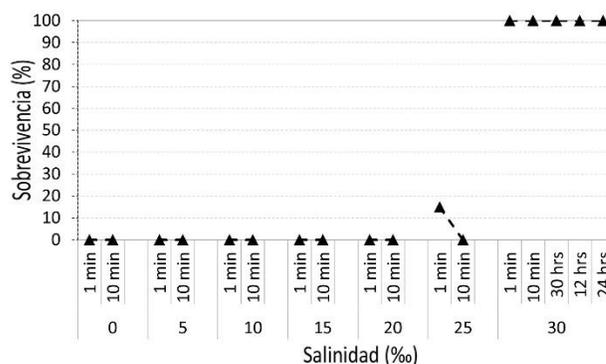


Figura 4. Sobrevivencia de copepoditos de *Caligus rogercresseyi* expuestos a diferentes gradientes de salinidad.

Experiencias efectuadas año 2013

Los resultados obtenidos en el segundo estudio, mostraron 100% de mortalidad a salinidad 0 y 100% de sobrevivencia a 30. A salinidades de 5 y 10 se registró 100% de mortalidad en hembras y machos a las 24 h de exposición. A 15 de salinidad se registró 45% de sobrevivencia en hembras y 20% en machos a las 24 h de exposición y a salinidad de 20 se registró 60% de sobrevivencia en hembras y 65% en machos (Fig. 3).

Los resultados obtenidos con el desafío de los copepoditos a agua dulce, mostraron que los copepoditos no soportaron salinidades menores a 30, registrándose solo 15% de sobrevivencia a salinidad de 25 después de 1 min de exposición (Fig. 4).

DISCUSIÓN

Al igual que los resultados obtenidos en estudios anteriores (Bravo *et al.*, 2008a), los parásitos colectados desde el centro con salinidad de 26, presentaron mayor tolerancia a la baja salinidad que los parásitos

colectados en el sector con salinidad de 32. En ambos casos, las hembras presentaron mayor tolerancia a la menor salinidad que los machos, lo cual se explicaría por la cualidad de las hembras, de preservar la especie bajo condiciones límites de sobrevivencia.

Las hembras con saco mostraron mayor susceptibilidad a los tratamientos con agua dulce que las hembras sin saco, registrándose un 73% de recuperación *versus* 100% para las hembras sin saco. Sin embargo, al igual que los tratamientos con peróxido de hidrógeno (Bravo *et al.*, 2010b), los tratamientos con baño de agua dulce no provocan un efecto de toxicidad, como es el caso de los pesticidas empleados para el control del piojo de mar. Los parásitos sólo se sueltan del pez, quedando paralizados, recuperándose una vez que son retornados nuevamente a salinidad alta.

Los copepoditos expuestos a salinidad de 25 presentaron una mortalidad de 100% después de 1 min de exposición, que es concordante con lo reportado por Tucker *et al.* (2000), quienes señalan que la tasa de asentamiento de los copepoditos de *L. salmonis* es menor a salinidad <24. Por otro lado, hay antecedentes que indican que a valores <15 la eclosión y desarrollo de los estados de nauplius se ve severamente reducido (Wootten *et al.*, 1982; Johnson & Albright, 1991), lo que explicaría la ausencia de *Caligus* en zonas estuarinas altamente influenciadas por agua dulce.

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que aun cuando la prevalencia y abundancia es reducida en sectores con baja salinidad (Bravo *et al.*, 2008a), la alternativa de realizar tratamientos con baños de agua dulce para el control de *Caligus* no es una buena opción, debido a que solo se logró una eficacia del 57% a los 30 min de exposición de las truchas parasitadas, registrándose menor eficacia en las hembras (41%), hacia las cuales deben ir dirigidas las medidas de control, considerando que éstas son las responsables de la producción de nuevas generaciones (Bravo *et al.*, 2010a, 2013). Los parásitos de la familia Caligidae se caracterizan por presentar una membrana adoral que rodea el cefalotórax que les permite mantenerse firmemente adheridos a la superficie corporal del pez, protegiéndolos de condiciones ambientales adversas, como es el caso de bajas concentraciones de salinidad. Por otro lado, los parásitos sometidos a desafío con agua dulce solo quedaron inconscientes, registrando una recuperación sobre el 90% a los 30 min de haber retornado nuevamente al agua de mar.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los profesionales de las empresas Ventisqueros y Mainstream, y muy especialmente a

Daniel Catalán de Aquanegocios, quienes colaboraron con la ejecución de estos estudios.

REFERENCIAS

- Ait, A.M., F.M. Ait & A. Mouabad. 2011. Effects of cypermethrin (Pyrethroid insecticide) on the valve activity behavior, byssal thread formation, and survival in air of the marine mussel *Mytilus galloprovincialis*. Arch. Environ. Con. Tox., 60: 462-470.
- Boxshall, G.A. & S. Bravo. 2000. On the identity of the common *Caligus* (Copepoda: Siphonostomatoida: Caligidae) from salmonid netpen system in southern Chile. Contrib. Zool., 69: 137-146.
- Bravo, S. 2003. Sea lice in Chilean salmon farms. Bull. Eur. Assoc. Fish Pat., 23: 197-200.
- Bravo, S. 2010. The reproductive output of sea lice *Caligus rogercresseyi* under controlled conditions. Exp. Parasitol., 125: 51-54.
- Bravo, S., V. Pozo & M. Silva. 2008a. The tolerance of *Caligus rogercresseyi* to salinity reduced in southern Chile. Bull. Eur. Assoc. Fish Pat., 28: 197-204.
- Bravo, S., S. Sevatdal & T.E. Horsberg. 2008b. Sensitivity assessment of *Caligus rogercresseyi* to emamectin benzoate in Chile. Aquaculture, 282: 7-12.
- Bravo, S., S. Sevatdal & T.E. Horsberg. 2010a. Sensitivity assessment in the progeny of *Caligus rogercresseyi* to emamectin benzoate. Bull. Eur. Assoc. Fish Pat., 30: 92-98.
- Bravo, S., J. Treasurer, M. Sepúlveda & C. Lagos. 2010b. Effectiveness of hydrogen peroxide in the control of *Caligus rogercresseyi* in Chile and implications for sea louse management. Aquaculture, 303: 22-27.
- Bravo, S., V. Pozo, M.T. Silva & D. Abarca. 2013. Comparison of the fecundity rate of *Caligus rogercresseyi* infesting Atlantic salmon on farms in two regions of Chile. Aquaculture, 404-405: 55-58.
- Brooks, K.M. 2005. The effects of water temperature, salinity, and currents on the survival and distribution of the infective copepodid stage of sea lice (*Lepeophtheirus salmonis*) originating on Atlantic salmon farms in the Broughton Archipelago of British Columbia, Canada. Rev. Fish. Sci., 13: 177-204.
- Carvajal, J., L. González & M. George-Nascimento. 1998. Native sealice (Copepoda: Caligidae) infestation of salmonids reared in netpen system in the southern Chile. Aquaculture, 66: 241-246.
- Costello, M.J. 2009. The global economic cost of sea lice to the salmonid farming industry. J. Fish Dis., 32: 115-118.
- Denholm, I., G.J. Devine, T.E. Horsberg, S. Sevatdal, A. Fallang, D.V. Nolan & R. Powell. 2002. Analysis and

- management of resistance to chemotherapeutants in salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer) (Copepoda: Caligidae). *Pest. Manag. Sci.*, 58: 528-536.
- Fagetti, E. & J. Stuardo. 1961. Copépodos parásitos chilenos III. *Gayana, Zool.*, 3: 5-14.
- Helgesen, K., S. Bravo, S. Sevatdal, J. Mendoza & T.E. Horsberg. 2014. Deltamethrin resistance in the sea louse *Caligus rogercresseyi* (Boxshall & Bravo) in Chile: bioassay results and consumption data for anti-parasitic agents with reference to Norwegian conditions. *J. Fish Dis.*, 37: 877-890.
- Heuch, P.A., A. Parsons & K. Boxaspen. 1995. Diel vertical migration: a possible host-finding mechanism in salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*) copepodids? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 52: 681-689.
- Horsberg, T.E. 2010. Resistance, an increasing problem. *Fish Farming Xpert*, 2: 70-72.
- Johnson, S.C., J.W. Treasurer, S. Bravo, K. Nagasawa & Z. Kabata. 2004. A review of the impacts of parasitic copepods on marine aquaculture. *Zool. Stud.*, 43: 8-19.
- Johnson, S.C. & L.J. Albright. 1991. Development, growth, and survival of *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae) under laboratory conditions. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, 71: 425-436.
- Jones, M.W., C. Sommerville & R. Wootten. 1992. Reduced sensitivity of the salmon louse, *Lepeophtheirus salmonis*, to the organophosphate dichlorvos. *J. Fish Dis.*, 15: 197-202.
- Kumar, A., B. Sharma & R.S. Pandey. 2011. Cypermethrin induced alterations in nitrogen metabolism in freshwater fishes. *Chemosphere*, 83: 492-501.
- Pike, A.W. & S.L. Wadsworth. 1999. Sea lice on salmonids: their biology and control. *Adv. Parasit.*, 44: 233-337.
- Pino-Marambio, J., A.J. Mordue, M. Birket, J. Carvajal, G. Asencio, A. Mellado & A. Quiroz. 2007. Behavioural studies of host, non-host and mate location by the sea louse, *Caligus rogercresseyi* Boxshall & Bravo, 2000 (Copepoda: Caligidae). *Aquaculture*, 271: 70-76.
- Reyes, X. & S. Bravo. 1983a. Salmón coho (*Onchorynchus kisutch*) cultivado en Puerto Montt, Chile, nuevo huésped para el copépodo *Caligus teres* (Caligidae). *Invest. Mar.*, Valparaíso, 11: 51-54.
- Reyes, X. & S. Bravo. 1983b. Nota sobre una copepodosis en salmones de cultivo. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 11: 55-57.
- Sevatdal, S. & T.E. Horsberg. 2003. Determination of reduced sensitivity in sea lice (*Lepeophtheirus salmonis* Krøyer) against the pyrethroid deltamethrin using bioassays and probit modeling. *Aquaculture*, 218: 21-31.
- Sevatdal, S., L. Copley, C. Wallace, D. Jackson & T.E. Horsberg. 2005. Monitoring of the sensitivity of sea lice (*Lepeophtheirus salmonis*) to pyrethroids in Norway, Scotland, Ireland and Canada using bioassays and probit modelling. *Aquaculture*, 244: 19-27.
- Shen, M-F., A. Kumar, S.-Y. Ding & S. Grocke. 2012. Comparative study on the toxicity of pyrethroids, α -cypermethrin and deltamethrin to *Ceriodaphnia dubia*. *Ecotoxicol. Environ. Safe.*, 78: 9-13.
- Stuardo, J. & E. Fagetti. 1961. Notas carcinológicas. Copépodos parásitos chilenos. I. Una lista de las especies conocidas y descripción de tres especies nuevas. *Rev. Chile. Hist. Nat.*, 55: 55-82.
- Tucker, C.S., C. Sommerville & R. Wootten. 2000. The effect of temperature and salinity on the settlement and survival of copepodids of *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1837) on Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *J. Fish Dis.*, 23: 309-320.
- Wang, Z.H., X.P. Nie & W.J. Yue. 2011. Toxicological effects of cypermethrin to marine phytoplankton in a co-culture system under laboratory conditions. *Ecotoxicology*, 20: 1258-1267.
- Wootten, R., J.W. Smith & E.A. Needham. 1982. Aspects of the biology of the parasitic copepods *Lepeophtheirus salmonis* and *Caligus elongatus* on farmed salmonids, and their treatment. *Proc. R. Soc. Edinb. Sect., B*, 81: 185-197.

Received: 10 September 2013; Accepted: 18 December 2014