

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DEPRESSÃO ENDOGÂMICA EM CARACTERÍSTICAS DE
CRESCIMENTO E RESISTÊNCIA A *Piscirickettsia salmonis*
EM SALMÃO COHO (*Oncorhynchus kisutch*)**

Helsi María Isidro Cristóbal

Bacharel em Biologia

2017

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DEPRESSÃO ENDOGÂMICA EM CARACTERÍSTICAS DE
CRESCIMENTO E RESISTÊNCIA A *Piscirickettsia salmonis*
EM SALMÃO COHO (*Oncorhynchus kisutch*)**

Helsi María Isidro Cristóbal

Orientador: Pesq. Dr. Roberto Carneiro

Coorientador: Profa. Dra. Lucia Galvão de Albuquerque

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciência Agrárias e Veterinárias - UNESP,
Câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de Mestre
em Genética e Melhoramento Animal.

2017

Isidro Cristóbal, Helsi María
I81d Depressão endogâmica em características de crescimento e
resistência a *Piscirickettsia salmonis* em salmão coho (*Oncorhynchus
kisutch*) / Helsi Maria Isidro Cristóbal. – – Jaboticabal, 2017
iv, 22 p. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017
Orientador: Roberto Carneiro
Coorientadora: Lucia Galvão de Albuquerque
Banca examinadora: Carlos Antônio Lopes de Oliveira, Humberto
Tonhati
Bibliografia

1. Coeficiente de endogamia. 2. Componentes de variância. 3.
Depressão endogâmica. 4. *Piscirickettsia salmonis*. 5. Salmão coho. I.
Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.082:639.3

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DEPRESSÃO ENDOGÂMICA EM CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO E RESISTÊNCIA A *Piscirickettsia salmonis* EM SALMÃO COHO (*Oncorhynchus kisutch*)

AUTORA: HELSI MARIA ISIDRO CRISTOBAL

ORIENTADOR: ROBERTO CARVALHEIRO

COORIENTADORA: LUCIA GALVÃO DE ALBUQUERQUE

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em GENÉTICA E MELHORAMENTO ANIMAL, pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. ROBERTO CARVALHEIRO
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. CARLOS ANTONIO LOPES DE OLIVEIRA
Centro de Ciências Agrárias / Universidade Estadual de Maringá/PR



Prof. Dr. HUMBERTO TONHATI
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 26 de setembro de 2017

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Helsi María Isidro Cristóbal – Nascida em 15 de agosto de 1990, em San Felipe Usila, Oaxaca – México, filha de Ismael Isidro Ruíz e Inés Cristóbal Isidro. Iniciou o curso de Biologia no *Tecnológico Nacional de México*, em agosto de 2009, localizada na cidade de Tuxtepec, Oaxaca – México. Em agosto do ano de 2015, ingressou no curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento Animal, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal. Durante o curso de mestrado foi orientada pelo Pesq. Dr. Roberto Carneiro, sendo bolsista CONACyT (México) no período de agosto de 2015 a julho de 2017.

Acredite em você mesmo e no que você é. Esteja ciente de que há algo dentro de você que é maior do que qualquer obstáculo.

Christian D. Larson

Eu tentei 99 vezes e errei, mas na centésima tentativa eu consegui. Nunca desista de seus objetivos mesmo que esses pareçam impossíveis, a próxima tentativa pode ser a vitoriosa.

Albert Einstein

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, e as pessoas mais presentes em minha vida: A meus pais Ismael e Inés pela compressão, confiança e exemplo de vida. A minha segunda mãe Jovita pela confiança e por muito amor para mim. A meus irmãos, que sempre confiaram em mim. A meu namorado, companheiro e melhor amigo, Ángel por estar comigo nos melhores e piores momentos da minha vida. A meu padrinho Carlos Díaz pela ajuda emocional, amor, amizade e por compartilhar o espírito de ser viajante.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus, por Ele ter colocado pessoas tão especiais a meu lado e por me fortalecer na fé. Também por me conceder a oportunidade de alcançar meus objetivos.

A meus pais Ismael e Inês, agradeço a eles pela vida, por tanto amor, por tudo o que eu sou, por cada oração e por sempre me estimularem a continuar com meus sonhos.

À Universidade Estadual Paulista “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal, e ao Programa de Pós-Graduação em Melhoramento Genético Animal, pela oportunidade da realização do curso de Mestrado.

À Empresa Pesquera Antares (Puerto Montt, Chile) e ao Prof. Dr. Jose Manuel Yáñez, por terem cedido o banco de dados para realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (CONACyT) – México e ao grupo COIMBRA das universidades Brasileiras, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Pesq. Dr. Roberto Carvalheiro, ter me aceitado, sem conhecer-me, e por ter acreditado em mim, pelos conselhos, paciência, confiança, compressão e pela oportunidade oferecida em diversos momentos. Muito obrigada.

A Grazyella Yoshida, agradeço muito você por toda ajuda fornecida na realização deste trabalho, também por compartilhar seus conhecimentos e ideais para a contribuição deste trabalho.

Aos membros da banca de defesa da tese, Dr. Carlos Antônio Lopes e Dr. Humberto Tonhati, por aceitarem nosso convite e por todas as sugestões que oferecerem para melhoria final deste trabalho.

Ao meu namorado Ángel pela paciência e vontade em me ajudar, e por estar sempre ao meu lado.

Aos meus companheiros de estudos, Grazyella, Ángel, Daiane, Giovana, Henrique, Baltasar e Laiza agradeço pelas orientações, conselhos, pela conversa, alegrias, risos e as festas. A cada um de vocês, obrigada!

Não chegaria até aqui sozinha. Mas também não teria sentido percorrer todo este caminho sem nenhum de vocês a meu lado. Muito obrigada!

SUMÁRIO

	Páginas
LISTA DE TABELAS.....	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT.....	iv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Coeficiente de endogamia	4
2.2. Depressão endogâmica.....	5
2.3. <i>Piscirickettsia salmonis</i>	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	7
3.1. Origem da população.....	7
3.2. Definição das características estudadas.....	8
3.3. Prova de desafio à <i>Piscirickettsia salmonis</i>	8
3.4. Análise dos dados	9
4. RESULTADOS	10
4.1. Estatísticas descritivas.....	10
4.2. Componentes de variância e herdabilidade.....	11
4.3. Coeficientes de endogamia e depressão endogâmica	12
5. DISCUSSÃO.....	15
6. CONCLUSÃO	18
7. REFERÊNCIAS	19

LISTA DE TABELAS

		Página
Tabela 1.	Estatísticas descritivas da idade, peso e comprimento à despesca, por geração.	10
Tabela 2.	Estatísticas descritivas para peso inicial e dias da morte, por tanque de desafio.	11
Tabela 3.	Estimativas dos componentes de variância para o ambiente comum, genética aditiva, fenotípica e residual (σ_c^2 , σ_a^2 , σ_p^2 e σ_e^2 , respectivamente) e herdabilidades (h^2) para peso e comprimento à despesca e dia de morte (DM) para resistência a <i>Piscirickettsia salmonis</i>	12
Tabela 4.	Coeficiente de endogamia (F) dos animais por geração.	12
Tabela 5.	Número de animais e famílias por geração de acordo com os níveis de endogamia.	13
Tabela 6.	Depressão endogâmica de acordo com os níveis de endogamia (F) e porcentagem de diferença da depressão endogâmica (DE_media) em relação à média quando a endogamia é igual à zero para peso a despesa (PD em gramas), comprimento a despesca (CD em centímetros) e dia de morte (DM em dias).	14

DEPRESSÃO ENDOGÂMICA EM CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO E RESISTÊNCIA A *Piscirickettsia salmonis* EM SALMÃO COHO (*Oncorhynchus kisutch*)

RESUMO – Os programas de melhoramento em espécies aquícolas apresentam, no geral, um número restrito de famílias e um pequeno tamanho efetivo populacional, levando ao acasalamento de animais aparentados e, conseqüentemente, ao aumento da endogamia. Por sua vez, maiores níveis de endogamia tendem a ocasionar queda no desempenho dos animais causada pela depressão endogâmica. O objetivo deste estudo foi estimar os níveis de endogamia e depressão endogâmica sobre as características de peso à despesca, comprimento à despesca e resistência a *Piscirickettsia salmonis* em uma população de salmão coho. A resistência a *Piscirickettsia salmonis* foi definida como o dia da morte de cada peixe após desafio conduzido em dois anos, com média de 42 dias em 2012 e 14 dias no ano de 2014. Foi utilizado um banco de dados composto por 53.504 observações, provenientes de nove gerações e 930 famílias. A estimação dos componentes de variância e endogamia foram obtidas utilizando o programa computacional AIREMLF90 e os valores de depressão endogâmica foram estimados a partir de um modelo animal. Os valores observados para o coeficiente de endogamia foram crescentes ao longo das gerações, com uma taxa média máxima de 8,75% no ano de 2014. A depressão endogâmica afetou em maior nível as características de peso à despesca e dia de morte, com redução de 6,4 e 9,2% no desempenho dos animais, respectivamente, para o nível máximo de endogamia observado (30%). Os resultados indicam a necessidade de uso de estratégias mais efetivas de controle da endogamia para a manutenção do progresso genético do programa de melhoramento de salmão coho.

Palavras-chaves: Coeficiente de endogamia, Componentes de variância, Depressão endogâmica, *Piscirickettsia salmonis*, Salmão coho

**INBREEDING DEPRESSION FOR GROWTH TRAITS AND RESISTANCE AGAINST
Piscirickettsia salmonis IN COHO SALMON (*Oncorhynchus kisutch*)**

ABSTRACT – Aquaculture breeding programs present, in general, low number of families and reduced effective population size, resulting in mating of related animals and, consequently, increased level of inbreeding. High inbreeding coefficient may negatively impact the animals' performance due to inbreeding depression. The objective of this study was to estimate inbreeding coefficient and inbreeding depression on growth traits and resistance against *Piscirickettsia salmonis* in a coho salmon population. Resistance against *P. salmonis* was defined as days to death of each fish after being challenged in two different years, with an average of 42 days in 2012 and 14 days in 2014. Data of 53,504 animals from 930 families was analyzed. Variance components were estimated using the software AIREMLF90, and inbreeding depression was estimated under an animal model. An increasing rate of inbreeding was observed, attaining an average of 8.75% in 2014. Inbreeding depression was more pronounced for harvest weight (PD) and days to death (DM), in comparison with harvest length. At the highest observed inbreeding level (30%), the estimated reduction caused by inbreeding depression was equal to 6,4% for PD and 9,2% for DM. The results indicate the necessity to control inbreeding more effectively for the studied coho salmon population, to guarantee genetic progress in the long term.

Key words: Inbreeding coefficient, Variance components, Inbreeding depression, *Piscirickettsia salmonis*, Coho salmon

1. INTRODUÇÃO

A demanda mundial por pescado tem sofrido um significativo incremento nas últimas décadas, principalmente em função do crescimento populacional e da busca dos consumidores por alimentos mais saudáveis. Neste contexto, a aquicultura desponta como a alternativa mais viável para continuar aumentando a oferta nos próximos anos, visto que a pesca de captura se encontra com a produção estabilizada desde a década de 1990 (FAO, 2014). Segundo as estatísticas publicadas pela FAO em 2016 no documento “*El Estado Mundial de la Pesca y la acuicultura*”, o crescimento registrado para a aquicultura no período de 2005 ao 2014 foi de taxa média anual de 5,8 %, com produção estimada de 44,3 e 73,8 milhões de toneladas, respectivamente.

Dentro dos dez principais países produtores de animais aquícolas em 2014, figuram: China (45,4 milhões t), Índia (4,8 milhões t), Indonésia (4,2 milhões t), Vietnã (3,4 milhões t), Bangladesh (1,9 milhões t), Noruega (1,3 milhões t), Chile (1,2 milhões t), Egito (um milhão t), Birmânia (962 mil t) e Tailândia (934 mil t). Em conjunto, estes países aportam 88,8% da produção mundial, sendo a China responsável por 36% (FAO, 2016).

A aquicultura no Chile é uma das atividades de maior crescimento nos últimos anos, com grande impacto socioeconômico. Esta atividade está voltada principalmente para a produção de salmonídeos para os mercados internacionais (TOLEDO, 2016). Os registros de despesca neste país vão de 723 mil toneladas em 2005 até 1,2 milhões de toneladas para os anos de 2014, respectivamente, contribuindo com 1,64% da produção mundial de animais aquícolas em 2014 (FAO, 2016).

O início da salmonicultura no Chile ocorreu a partir de 1921 com a chegada dos primeiros salmões Coho (*Oncorhynchus kisutch*). Em 1976, foram importadas 500 mil ovas desta espécie e, em 1977, iniciou-se o cultivo em circuito aberto em que foram liberadas mais de 200 mil crias. No ano de 1990, conseguiram reproduzir os salmões dentro do território chileno, e obtiveram-se as primeiras ovas nacionais, sendo o ponto de partida para o maior desenvolvimento da atividade. Atualmente, o Chile produz três espécies de salmonídeos (*Salmo salar*, *Oncorhynchus kisutch* e

Oncorhynchus mykiss), que em conjunto registraram despescas de 792 mil toneladas em 2013, 955 mil toneladas em 2014 e 834 mil toneladas em 2015 (SALMONCHILE, 2016).

Com exportações que ultrapassam os USD\$ 4.000 milhões, o salmão é o segundo produto mais exportado do Chile, depois do cobre (SALMONCHILE, 2016). Os principais mercados do salmão chileno são três: EUA, que representa 32% das exportações, constituindo o principal destino para o salmão do Atlântico (*Salmo salar*). Japão e Brasil, que são mercados que recebem 24% e 13% do salmão chileno, importando principalmente salmão do Pacífico (*Oncorhynchus kisutch*) e truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) (SALMONCHILE, 2016).

O aumento de produção e a sustentabilidade desta indústria dependem em grande parte do controle de doenças infecciosas. *Piscirickettsia salmonis* é uma bactéria intracelular inicialmente isolada a partir de uma população de salmão Coho produzida no Chile (CVITANICH; GARATE; SMITH, 1991). A infecção causada por este patógeno, também chamada *Síndrome Rickettsial do Salmão*, é atualmente um dos principais problemas na produção de salmão no Chile (SERNAPESCA, 2015). Isto ocorre principalmente devido ao fato de que as medidas de controle convencionais (vacinas e antibióticos) não demonstraram ser consistentemente eficazes em condições de campo (ROZAS; ENRIQUEZ, 2014).

Programas de melhoramento genético para o salmão têm sido desenvolvidos desde o começo da década de 1990 para impulsar a indústria no Chile (NEIRA et al., 2004). Estes programas geralmente utilizam características de crescimento, como o principal objetivo de seleção (NEIRA et al., 2004). Outras características, como a qualidade da carne e resistência a doenças, também são incluídas como objetivos de alguns programas (GJEDREM, 2000; 2012; YÁÑEZ; MARTÍNEZ, 2010; YÁÑEZ; HOUSTON; NEWMAN, 2014).

Devido a restrições de espaço físico e orçamentárias, os programas de melhoramento em espécies aquícolas apresentam, no geral, um número restrito de famílias e um pequeno tamanho efetivo populacional (PONZONI et al., 2010), levando ao acasalamento de animais aparentados e, conseqüentemente, ao aumento da endogamia. Por sua vez, maiores níveis de endogamia tendem a ocasionar queda no desempenho dos animais causada pela depressão endogâmica.

A maioria dos estudos de depressão endogâmica em diversas características em peixes indica que os animais com maior endogamia apresentam menor viabilidade, menor crescimento, assim como menor resistência a doenças (GJERDE; HEEN; MONAHAM, 1993; SU; LILJEDAHL; GALL, 1996, RYE; MAO 1998; PANTE; GJERDE; MCMILLAN, 2001; ARKUSH et al., 2002; GALLARDO et al., 2004).

Os objetivos do presente estudo foram estimar os níveis de endogamia ao longo das gerações em uma população de salmão coho, e avaliar o efeito da depressão endogâmica no comprimento e peso á despesca, assim como na resistência à bactéria *Piscirickettsia salmonis*.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Coeficiente de endogamia

A produção em cativeiro apresenta oportunidades de melhoria no desempenho das espécies aquícolas, por meio da seleção genética. No entanto, há uma série de desafios ao estabelecer e manter programas de melhoramento de espécies aquícolas (GJEDREM; BARANSKI, 2009). Um dos problemas é decorrente a limitação das instalações e o restrito número de família, levando ao acasalamento de animais aparentados (HILL, 2010). Os efeitos da endogamia têm sido observados em muitas espécies de animais e plantas. A magnitude e os efeitos específicos de endogamia são altamente variáveis, já que depende da constituição genética das espécies, da população, do objeto do estudo, e da interação do genótipo com o ambiente (HEDRICK; KALLINOWSKI, 2000).

A endogamia ou consanguinidade resulta do acasalamento intencional, ou não, de animais aparentados, sendo capaz de alterar a constituição genética da população (QUIEROZ; ALBUQUERQUE; LANZONI, 2000). O principal efeito da endogamia é o aumento da frequência de genótipos em homozigose, em relação à frequência esperada ao utilizar acasalamentos aleatórios (HARTL, 2008).

A endogamia pode pôr em risco os programas de melhoramento genético, porque poderia reduzir a variância genética aditiva (FALCONER; MACKAY, 1996). Devido aos recursos limitados e o acasalamento apenas de animais com alto mérito genético, as variedades selecionadas podem ter pequeno tamanho populacional (PONZONI et al., 2010). Quando menor seu tamanho efetivo, a população é mais suscetível a redução da variabilidade genética e aumento da endogamia (KAUSE et al., 2005). O controle da taxa de endogamia é importante em programas de seleção, uma vez que quanto maior o nível de endogamia, maior será a probabilidade de ocorrência do fenômeno conhecido como depressão endogâmica (GJERDE; GUNNES; GJEDREM, 1983; SU; LILJEDAHL; GALL, 1996; RYE; MAO, 1998; PANTE; GJERDE; MCMILLAN, 2001; ARKUSH et al., 2002; GALLARDO et al., 2004).

2.2. Depressão Endogâmica

A depressão endogâmica é o efeito da endogamia medida como a redução do desempenho de uma característica quantitativa. A depressão endogâmica é a consequência das taxas elevadas de endogamia, resultando em perda parcial do ganho genético obtido por seleção e redução na média do valor fenotípico, evidenciando principalmente, nas características relacionadas à capacidade reprodutiva ou eficiência fisiológica (BREDA; EUCLYDES; PEREIRA, 2004).

A maioria dos estudos sobre a endogamia e seus efeitos em diversas características em peixes tem sido baseada em comparações planejadas entre um ou vários grupos de animais consanguíneos. Esses resultados têm mostrado consistentemente que a progênie endogâmica apresenta menor viabilidade, menor crescimento e menor resistência a doenças (GJERDE; HEEN; MONAHAM, 1993, SU; LILJEDAHL; GALL, 1996, RYE; MAO, 1998; PANTE; GJERDE; MCMILLAN, 2001; ARKUSH et al., 2002; GALLARDO et al., 2004).

Segundo Keller e Waller (2002), a depressão endogâmica geralmente causa respostas negativas no desempenho dos animais, pois normalmente mutações deletérias ocorrem em homozigose. Tendo em vista este conceito, pode-se inferir que a depressão endogâmica é o inverso da heterose, que é manifestação de combinações gênicas favoráveis.

Su, Liljedahl e Gall (1996), avaliaram uma população de truta arco-íris por geração e encontraram a taxa de endogamia entre 1,4% e 1,7%, enquanto Pante, Gjerde e Mcmillan, (2001) observaram a taxa de endogamia entre 0,5% e 2,0% por geração. Gallardo et al. (2004) avaliaram uma população de salmão por quatro gerações, relacionando taxas de endogamia com efeitos da depressão endogâmica e observaram redução nos valores das características reprodutivas avaliadas, embora somente os índices gonadossomáticos tenham sido significativos e relacionados com a depressão endogâmica.

2.3. *Piscirickettsia salmonis*

A doença *síndrome rickettsial do salmão*, causada pela bactéria *Piscirickettsia salmonis*, ocorre principalmente em água salgada já que a bactéria não persiste em

condições de água doce. A *Piscirickettsia salmonis* corresponde a uma bactéria gram negativa, imóvel, intracelular facultativa. Seu tamanho varia de $0,5\mu m$ e $1,5\mu m$. Os peixes susceptíveis a esta bactéria são provavelmente todos os salmonídeos. Além disso, a doença tem sido descrita no hemisfério norte nas espécies de peixes como, robalo e *Seabas europeos* (LARENAS; ACUÑAS, 2014). De acordo estudos experimentais, sabe-se que a bactéria é transmitida horizontalmente, através das fezes e urina de animais infectados. Em relação à transmissão vertical, a bactéria é transmitida através dos reprodutores a sua progênie. Durante o processo de fertilização, a bactéria *Piscirickettsia salmonis* é unida aos ovos por meio de um complexo de adesão, contaminando a progênie (LARENAS; ACUÑAS, 2014).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Origem da população

Foi utilizado um banco de dados composto por 53.504 observações, provenientes de nove gerações e 930 famílias, formadas por 437 pais e 930 mães. O número de famílias por gerações variou de 72 a 137. Os dados foram cedidos pelo programa de melhoramento genético da empresa *Pesquera Antares* (Puerto Montt, Chile). Esta empresa conduz um programa de melhoramento genético que envolve duas populações independentes (ímpar e par), com início do processo de seleção nos anos 1997 e 1998, respectivamente, apresentando ciclos de reprodução a cada dois anos. Para o presente trabalho, apenas os dados da população formada no ano de 1998 foram utilizados, devido ao maior acúmulo da endogamia nesta população. A cada geração, 30% dos melhores animais, de acordo com os valores genéticos estimados por BLUP, foram pré-selecionados como candidatos para gerar os animais para a próxima geração (YÁÑEZ; HOUSTON; NEWMAN, 2014).

Para gerar as famílias foi utilizada a técnica de indução hormonal, no período de uma a duas semanas, minimizando dessa forma o efeito do dia da desova nas características finais. Uma média de 100 famílias por geração foi produzida utilizando a proporção de um macho para três a cinco fêmeas. A endogamia foi controlada evitando apenas acasalamento de irmãos completos nas primeiras gerações e acasalamentos de irmãos-completos e meios-irmãos em gerações posteriores.

Os ovos de cada família de irmãos-completos foram incubados separadamente e, no estágio de 'olho', 2.000 ovos de cada família foram selecionados aleatoriamente e movidos para tanques individuais de 400 l para incubação. de acordo aos seguintes critérios: 1) manter um delineamento de acasalamento o mais próximo possível de um macho para quatro fêmeas; e 2) manter as famílias com maior número de sobrevivência de ovos (>80%).

Aproximadamente 80 peixes por família foram identificados individualmente utilizando PIT (*passive integrated transponder*) tags ao atingirem cerca de 5 a 7 g. Nesta fase, os peixes foram transferidos de água doce para os locais de 'smoltificação' em água salgada, onde cada família de irmãos-completos foi alocada

aleatoriamente em números iguais (60-80) em duas a três gaiolas de criação, ocorrendo a 'smoltificação' naturalmente aos oito meses pós-desova.

3.2. Definição das características estudadas

As características de peso (PD) e comprimento (CD) à despesca foram registradas individualmente no momento da despesca quando os animais atingiram o peso comercial de cerca de 3 kg aos 20-21 meses de idade.

A característica dia para a morte (DM) foi definida como o tempo em que os animais levaram para morrer após os animais serem desafiados para resistência contra *Piscirickettsia salmonis*.

3.3. Prova de desafio à *Piscirickettsia salmonis*

Para o teste de desafio à resistência contra *Piscirickettsia salmonis* foram utilizados um total de 5,482 peixes para dois anos de avaliação, pertencentes a 222 famílias, procedentes do núcleo de cria da população par. A prova foi realizada utilizando uma cepa patogênica de *Piscirickettsia salmonis* isolada em novembro no ano de 2012 e adquirida pela ADL Diagnostic Chile Ltda. (Puerto Montt, Chile). A bactéria foi isolada de uma amostra de rim e foi identificada como cepa LF-89. O inóculo foi produzido a partir de um cultivo sólido. Foi realizado um desafio preliminar para determinar a dose letal 50 (LD₅₀), utilizando quatro diferentes diluições (1:10; 1:100; 1:1000; 1:10000) do inóculo original. Antes da injeção intraperitoneal os peixes foram anestesiados com 30 ppm (partes por milhão) de benzocaína.

O teste de desafio foi realizado na Estação de Pesquisa da empresa Aquainnovo, localizada no rio Lenca, Xth Região, Chile, onde os peixes foram submetidos a 117 dias de aclimatação em água salgada de 32 ppt (partes por trilhão) a uma temperatura de 13°C. Os peixes foram distribuídos em três tanques (7m³) com uma concentração de água salgada de 31 ppt após a injeção intraperitoneal (IP) de 0,2 ml/peixe do inóculo LD₅₀ de *Piscirickettsia salmonis*. O desafio experimental durou 50 e 30 dias nos anos de 2012 e 2014, respectivamente. Os animais mortos foram coletados diariamente. Um teste de necropsia foi realizado em conjunto com qRT-PCR para determinar a causa da morte e a presença de

Piscirickettsia salmonis. Mais detalhes do desafio experimental e a obtenção da dose letal 50 foram descritos por Yáñez et al. (2016).

3.4. Análise dos dados

As estimativas dos componentes de variância e efeito da depressão endogâmica para as características estudadas foram obtidas a partir do seguinte modelo animal:

$$y = X\beta + Z_1a + Z_2c + e ,$$

em que, y é o vetor de observações das características analisadas (PD, CD e DM); β é o vetor dos efeitos fixos, sendo considerado o grupo de contemporâneos (sexo:ano:tanque) como efeito classificatório, a idade do animal e a endogamia (estimada em uma análise prévia utilizando o arquivo de pedigree) como covariáveis; a , c e e são os vetores dos efeitos genéticos aditivos direto, de ambiente comum (período em que os grupos de irmãos-completos são mantidos juntos até a identificação, utilizado somente para as características peso e comprimento), e o erro aleatório, respectivamente. X , Z_1 , e Z_2 são as matrizes de incidência dos efeitos fixos, genético aditivo direto e de ambiente comum, respectivamente. O efeito da depressão endogâmica foi determinado pela solução do efeito (linear) da endogamia incluída como covariável no modelo.

Os parâmetros de interesse foram estimados pela implementação das equações de modelo mistos, utilizando o programa computacional AIREMLF90 (MISZTAL et al., 2016).

4. RESULTADOS

4.1. Estatísticas descritivas

Os valores descritivos para as características de idade, peso e comprimento à despesca, ao longo das gerações, estão descritos na Tabela 1. Pode-se observar que ao longo dos anos houve expressiva redução da média de idade à despesca, indo de 648 dias em 1998 para 552 dias em 2014. Em relação ao peso e comprimento à despesca, houve oscilação da média ao longo dos anos. Nota-se, entretanto, que o coeficiente de variação apresentou redução expressiva para ambas características nas últimas três gerações.

Tabela 1. Estatísticas descritivas da idade (dias), peso e comprimento à despesca por geração.

Variável	Ano	N	Média	DP	Min	Max	CV%
Idade-à-despesca (dias)	1998	3214	648	6	630	658	0,92
	2000	1561	626	15	597	656	2,39
	2002	4436	627	4	621	638	0,63
	2004	4391	615	8	600	939	1,30
	2006	6387	621	15	605	655	2,41
	2008	7602	614	2	609	618	0,32
	2010	6106	582	3	577	587	0,51
	2012	7900	571	2	567	574	0,35
	2014	6425	552	2	548	556	0,36
Peso-à-despesca (kg)	1998	3214	3,630	0,749	1,39	5,78	20,63
	2000	1561	4,207	1,616	0,24	7,2	31,47
	2002	4436	3,719	1,745	0,7	7,18	46,92
	2004	4391	4,231	1,158	0,103	7,08	27,36
	2006	6387	4,895	0,994	1,11	7,5	20,30
	2008	7602	2,466	0,899	0,05	4,6	36,54
	2010	6106	4,388	0,633	2,49	6,2	14,42
	2012	7900	4,437	0,836	0,2	6,9	18,84
	2014	6425	4,168	0,540	2,58	5,8	12,95
Comprimento-à-despesca (cm)	2000	1560	61,10	9,84	30	79	16,10
	2002	4434	58,28	10,81	23	77	18,54
	2004	4391	63,44	6,55	24	90	10,32
	2006	6387	65,89	4,57	36	88	6,93
	2008	7600	53,79	8,70	11	73	16,17
	2010	6106	62,10	1,63	52	78	2,62
	2012	7900	62,65	2,96	27	70	4,72
	2014	6425	63,15	2,77	24	85	4,38

N: número de animais; DP: desvio padrão; Min: mínimo; Max: máximo; CV: coeficiente de variação.

A Tabela 2 apresenta as estatísticas descritivas para o peso inicial e dia da morte para o teste de desafio a resistência contra *Síndrome Rickettsial do Salmão*

(SRS) realizado. No ano de 2012, os animais resistiram à doença por mais dias (41 a 43 dias) quando comparado com o desafio realizado no ano de 2014 (13 a 14 dias) e a porcentagem de sobrevivência para o teste de desafio contra *Piscirickettsia salmonis* foi de 61,47% em 2012 e 1,34% em 2014. A alta mortalidade logo nos primeiros dias de desafio no ano de 2014, fez com que o teste fosse finalizado aos trinta dias.

Tabela 2. Estatísticas descritivas para peso inicial e dias da morte, por tanque-ano de desafio.

Variável	ANO	Tanque	N	Média	DP	Min	Max	% Sobrevivência
Peso inicial (g)	2012	1	864	277,6	137,1	94	613	-
		2	878	276,7	137,6	94	620	-
		3	861	283,3	140,3	90	654	-
	2014	1	932	159,2	37,2	72	258	-
		2	943	160,1	35,9	78	269	-
		3	950	161,1	39,5	67	267	-
Dia para a morte (dias)	2012	1	864	41	11	10	50	57,52
		2	881	41	8	11	50	64,93
		3	861	43	10	11	50	61,90
	2014	1	948	13	4	4	30	0,95
		2	959	14	4	4	30	1,67
		3	969	14	3	4	30	1,34

Número de animais; PD: desvio padrão; min: mínimo; Max: máximo.

4.2. Componentes de variância e herdabilidades

Estimativas moderadas de herdabilidade foram obtidas para peso à despesca ($0,34 \pm 0,02$), comprimento à despesca ($0,20 \pm 0,02$) e para dia de morte ($0,21 \pm 0,03$). O efeito de ambiente comum associado ao grupo de irmãos-completos correspondeu a 3,5% e 2,6% para PD e CD, respectivamente, enquanto que para DM tal efeito não foi incluído no modelo por ser muito próximo a zero (Tabela 3).

Tabela 3. Estimativas dos componentes de variância para o ambiente comum, genética aditiva, fenotípica e residual (σ_c^2 , σ_a^2 , σ_p^2 e σ_e^2 , respectivamente) e herdabilidades (h^2) para peso e comprimento à despesca e dia de morte (DM) para resistência a *Piscirickettsia salmonis*.

	Peso (kg)	Comprimento (cm)	DM (dias)
σ_c^2	0,02 ± 0,003	0,36 ± 0,07	0
σ_a^2	0,19 ± 0,02	2,72 ± 0,35	11,92 ± 2,03
σ_p^2	0,57 ± 0,01	13,88 ± 1,25	56,52 ± 2,53
σ_e^2	0,36 ± 0,03	10,80 ± 0,19	44,60 ± 1,48
h^2	0,34 ± 0,02	0,20 ± 0,02	0,21 ± 0,03

4.3. Coeficiente de endogamia e depressão endogâmica

Os níveis de endogamia foram baixos nas primeiras gerações, e com o passar das gerações esses valores foram aumentando devido ao acasalamento de animais aparentados. Até o ano de 2004 não havia animais endogâmicos. Porém, a partir de 2006, todos os animais apresentaram endogamia não nula, sendo o valor máximo observado de 29,8% de endogamia no ano de 2014 (Tabela 4).

Tabela 4. Coeficiente de endogamia (F) dos animais por geração.

ANO	N	Média (F)	DP	Min	Max
1998	3214	0	0	0	0
2000	1561	0,22	1,66	0	12,50
2002	4436	2,32	3,13	0	12,50
2004	4391	4,91	3,67	0	17,20
2006	6387	6,06	3,68	1,60	20,30
2008	7602	6,24	2,64	2,70	19,10
2010	6106	7,04	2,07	3,50	12,60
2012	10506	8,05	2,36	5,60	16,20
2014	9301	8,75	2,98	6,00	29,80

N: número de animais; DP: desvio padrão; Min: mínimo; Max: máximo.

Na tabela 5 apresentam-se os números de famílias e animais endogâmicos dentro de cada nível de endogamia formadas a cada 5%. É possível observar que o número de animais e famílias com maior nível de endogamia aumentou com o número de gerações. Nos últimos dois anos de avaliação, a maior quantidade de animais endogâmicos se concentraram nos níveis entre 5 e 15%, porém uma família com 103 indivíduos acumulou o nível máximo de endogamia de 29,8%.

Tabela 5. Número (N.) de animais e famílias por geração de acordo com os níveis de endogamia.

		NÍVEIS DE ENDOGAMIA (%)							
Ano		0	0,1-4,9	5-9,9	10-14,9	15-19,9	20-24,9	25-30	Total
1998	N. família	75	0	0	0	0	0	0	75
	N. animal	3214	0	0	0	0	0	0	3214
2000	N. família	71	0	0	1	0	0	0	72
	N. animal	1533	0	0	28	0	0	0	1561
2002	N. família	65	14	33	2	0	0	0	114
	N. animal	2629	560	1165	82	0	0	0	4436
2004	N. família	7	85	32	10	3	0	0	137
	N. animal	192	2610	1050	429	110	0	0	4391
2006	N. família	0	44	45	10	2	1	0	102
	N. animal	0	3044	2575	580	110	78	0	6387
2008	N. família	0	34	58	3	3	0	0	98
	N. animal	0	2664	4496	214	228	0	0	7602
2010	N. família	0	11	86	13	0	0	0	110
	N. animal	0	520	4854	732	0	0	0	6106
2012	N. família	0	0	90	21	-	0	0	112
	N. animal	0	0	8521	1912	73	0	0	10506
2014	N. família	0	0	94	14	-	0	1	110
	N. animal	0	0	7891	1234	73	0	103	9301
N. total de famílias		218	188	438	74	10	1	1	930
N. total de animais		7568	9398	30552	5211	594	78	103	53504

Na Tabela 6, pode-se observar o efeito negativo da endogamia para todas as características estudadas, caracterizando a existência de depressão endogâmica. No maior nível de endogamia observado na população (30%), houve redução de 6,42%, 0,92% e 9,19% no peso, comprimento e dia de morte, respectivamente, em relação à média destas características quando a endogamia foi igual à zero, ficando evidente que o peso e o dia de morte foram as características mais afetadas pela endogamia.

Tabela 6. Depressão endogâmica de acordo com os níveis de endogamia (F) e porcentagem de diferença da depressão endogâmica (DE_média) em relação à média quando a endogamia é igual à zero para peso a despesa (PD em gramas), comprimento a despesca (CD em centímetros) e dia de morte (DM em dias).

F (%)	PD¹	DE_média_PD (%)	CD²	DE_média_CD (%)	DM³	DE_média_DM (%)
0	4,00	0,00	61,20	0,00	26,84	0,00
1	3,99	-0,21	61,18	-0,03	26,76	-0,31
5	3,96	-1,07	61,11	-0,15	26,43	-1,53
10	3,91	-2,14	61,01	-0,31	26,02	-3,06
15	3,87	-3,21	60,92	-0,46	25,61	-4,59
20	3,83	-4,28	60,82	-0,61	25,20	-6,12
25	3,79	-5,35	60,73	-0,77	24,79	-7,65
30	3,74	-6,42	60,64	-0,92	24,37	-9,19

¹PD=4,00-0,008562*F; ²CD=61,20-0,018797*F; ³DM=26,84-0,082180*F; Estimativas do efeito de endogamia (regressores) obtidas com base no modelo animal descrito no item 3.4.

5. DISCUSSÃO

Estudos anteriores demonstraram a presença da variância genética aditiva significativa para peso corporal e resistência a *Síndrome Rickettsial do Salmão* em salmão coho. Por exemplo, estimativas de herdabilidades de baixa a moderada foi estimada para peso a despesca, variando entre $0,13 \pm 0,04$ a $0,41 \pm 0,03$ (DUFFLOCQ et al., 2016; NEIRA et al., 2006, 2004; YÁÑEZ et al., 2016). Para a característica resistência contra *Piscirickettsia salmonis*, Yáñez et al. (2016) encontraram estimativas de herdabilidade inferior ao estimado no presente trabalho ($0,16 \pm 0,04$). No entanto, os autores utilizaram somente os animais desafiados no ano 2012 para a obtenção das estimativas. No mesmo estudo, Yáñez et al. (2016) estimaram correlação genética entre peso e dia de morte de $-0,50 (\pm 0,13)$, indicando associação genética desfavorável entre estas características.

Assim como no presente trabalho, Dufflocq et al. (2016), Gallardo, Lhorente e Neira (2010) e Yáñez et al. (2016), reportaram o efeito de ambiente comum afetando características de crescimento. Além disso, Yáñez et al. (2016) também não identificaram efeito expressivo do ambiente comum para resistência a SRS em salmão coho.

Apesar do programa de melhoramento genético da população estudada de salmão coho ser bem sucedido em termos de ganhos genéticos para peso a despesca, com ganhos variando de 10 a 13% por geração (resultados não apresentados), é notável o nível de endogamia acumulado ao longo dos anos de seleção (Tabelas 4 e 5). Tais valores estão de acordo como os encontrados por Gallardo et al. (2004), Neira et al. (2006) e Yáñez, Houston e Newman (2014). Em programas de melhoramento genético, é sugerido o nível máximo de taxa de endogamia variando entre 0,5 a 1,0% por geração para que o programa seja mantido de forma viável (BIJMA, 2000). Desta forma, a média do aumento da endogamia durante as nove gerações de seleção para a presente população de salmão coho é superior ao sugerido por Bijma (2000).

Para que um programa de melhoramento continue tendo progresso genético, espera-se que a variabilidade genética seja mantida por muitas gerações. Porém, o acúmulo da endogamia ao longo das gerações pode ter consequências negativas,

como a depressão endogâmica observada no presente estudo, caracterizada pelo declínio da média fenotípica para uma característica em particular devido ao aumento da homoziguidade (LYNCH; WALSH, 1997). Gallardo et al. (2004) observaram em salmão coho que a depressão endogâmica afetou de forma significativa o índice gonadossomático e o comprimento corporal no momento da desova e não significativa as características do peso de gônadas, fecundidade, número e sobrevivência de ovos.

Estudos de depressão endogâmica em diferentes espécies reportaram efeito moderado da endogamia para a característica peso corporal, não sendo suficientes para causar impactos mais sérios em programas de melhoramento genético (JOSEFA et al., 2001). Por exemplo, em truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) foi observado o decréscimo máximo de 2% a 5% do peso a despesca a cada 10% de aumento na endogamia, respectivamente (JOSEFA et al., 2001; SU; LILJEDAHN; GALL, 1996). Rye e Mao (1998), trabalhando com diferentes populações de salmão do Atlântico (*Salmo salar*), encontraram valores variando de 0,6 a 2,6% de depressão endogâmica para peso corporal a cada 10% no aumento do coeficiente de endogamia. Por outro lado, efeito não significativo da endogamia para o peso a despesca foi encontrado por Neira et al. (2006) ao utilizar salmão coho. O uso de um número menor de gerações (5 gerações) e o nível de endogamia acumulado mais baixo (média de 2,5%), quando comparado ao presente trabalho, justificam o fato da depressão endogâmica não ter sido detectada nessa população.

A característica resistência contra *Síndrome Rickettsial do Salmão* causado pelo agente *Piscirickettsia salmonis* é umas das doenças infecciosas de maior importância na salmonicultura e a depressão endogâmica para esta característica está sendo reportada pela primeira vez neste trabalho. Os valores encontrados de depressão endogâmica indicam que com o aumento de 10% na endogamia o decréscimo na resistência não é tão expressivo (3%). No entanto, ao nível de 30% de endogamia, o decréscimo nos dias de sobrevivência foi de 9% (Tabela 6). De acordo com Falconer e Mackay (1996), as características associadas à sobrevivência normalmente são mais afetadas pela endogamia. Tal afirmação fica mais evidente com os resultados do trabalho realizado por Moss et al. (2007), utilizando o camarão branco do Pacífico. Os autores reportaram o efeito da

depressão endogâmica de moderada (8,3%) a severa (38,7%) a cada 10% no aumento da endogamia, para a sobrevivência dos animais após serem expostos ao teste de desafio utilizando diferentes patógenos virais.

Os níveis e o aumento da endogamia ao longo das gerações na presente população de salmão coho estão acima dos valores máximos recomendados. Como consequência, as características de peso a despesca e resistência a *Síndrome Rickettsial do Salmão* vêm sendo afetadas por níveis moderados de depressão endogâmica. Desta forma, diferentes estratégias práticas de controle de endogamia podem ser aplicadas, como exemplo, aumentar o número de pais selecionados, aumentar o número de famílias para compor a próxima geração, limitar o uso de cada reprodutor e escolha de sistemas de acasalamento mais adequado (GJEDREM; BARANSKI, 2009). No entanto, tais estratégias estão sujeitas a disponibilidade de espaço físico, alteração nas instalações e consequentemente investimentos adicionais.

Yáñez, Houston e Newman (2014) recomendaram o uso de material genético, por exemplo, sêmen criopreservado, para conectar diferentes populações geneticamente melhoradas para controlar a endogamia. No entanto, o uso de material genético externo nem sempre é possível, devido às barreiras comerciais e sanitárias impostas. Gjedrem e Baranski (2009) sugeriram a inserção de material genético provindo de estoques naturais nos programas de melhoramento genético, podendo, entretanto, comprometer o progresso genético às custas do controle da endogamia. Já, Yoshida et al. (2017) recomendaram a utilização do algoritmo de seleção de acasalamento, que foi capaz de controlar a endogamia de forma mais efetiva, utilizando a mesma população de salmão coho que o presente trabalho, permitindo maior progresso genético esperado a longo prazo.

6. CONCLUSÃO

Elevados níveis de endogamia foram observados na população estudada. A depressão endogâmica afetou em maior nível as características de peso a despesca e dia de morte, com redução de 6,4 e 9,2% no desempenho dos animais, respectivamente, para o nível máximo de endogamia observado (30%). Os resultados indicam a necessidade de uso de estratégias mais efetivas de controle da endogamia para a manutenção do progresso genético do programa de melhoramento de salmão coho.

7. REFERÊNCIAS

ARKUSH, K.D.; GUISE, A.R.; MENDONCA, H.H.; MCBRIDE, A.M.; MARTY, G.D.; HEDRICK, P.W. Resistance to three pathogens in the endangered winter-run Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*): effects of inbreeding and major histocompatibility complex genotypes. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v.59, p. 966-975, 2002.

BIJMA, P. Long-term Genetic Contributions: Prediction of Rates of Inbreeding and Genetic Gain in Selected Populations. 2000. Disponível em <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/198962>.

BREDA, F.C.; EUCLYDES, R.F.; PEREIRA, C.S. Endogamia e limite de seleção em populações selecionadas obtidas por simulação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.2017-2025, 2004.

CVITANICH, J.O.; GARATE, O.; SMITH, C. The isolation of rickettsia-like organism causing disease and mortality in Chilean salmonid and its confirmation by Koch's postulate. **Journal of Fish Diseases**, v.14, n.2, p.121-146, 1991.

DUFFLOCQ, P.; LHORENTE, J.P.; BANGERA, R.; NEIRA, R.; NEWMAN, S.; YAÑEZ, J.M. Correlated response of flesh color to selection for harvest weight in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). **Aquaculture**, v.472, p.38-43, 2016.

FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. **Introduction to Quantitative Genetics**. Fourth ed. Harlow: Longman House, 1996.

FAO. Fisheries and Aquaculture Department [online] (Rome, 2014). <http://www.fao.org/fishry/statistics/globalaquacultureproduction/en>.

FAO. **Estado mundial de la pesca y la acuicultura** [online] (Roma, 2016). [http://www.fao.org/producción mundial de la pesca de captura y la acuicultura](http://www.fao.org/producción%20mundial%20de%20la%20pesca%20de%20captura%20y%20la%20acuicultura).

GALLARDO, J.A.; LHORENTE, J.P.; GARCIA, X.; NEIRA, R. Effects of nonrandom mating schemes to delay the inbreeding accumulation in cultured populations of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v.61-4, p. 545-553, 2004.

GALLARDO, J.A.; LHORENTE, J.P.; NEIRA, R. The consequences of including non-additive effects on the genetic evaluation of harvest body weight in Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). **Genetics Selection Evolution**, p.42-19, 2010.

GJEDREM, T. Genetic improvement of cold-water species. **Aquaculture Research**, v.31, p.25-53, 2000.

GJEDREM, T.; BARASKI, M.; Selective breeding in aquaculture: an introduction, reviews: Methods and technologies in fish biology and fisheries. **Springer Netherlands Dordrecht**, p.11, 2009. <http://dx.doi.10.1007/978-90-481-2773-3>.

GJEDREM, T. Genetic improvement for the development of efficient global aquaculture. **Journal Aquaculture**, v. 344-349, p.12-22, 2012.

GJERDE, B.; GUNNES, T.; GJEDREM, T. Effect of inbreeding on survival and growth in rainbow trout. **Aquaculture**, v. 34, n. 3-2, p.327-332, 1983.

GJERDE, B.; HEEN, K.; MONAHAN, R.L. Breeding and selection in salmon. **Aquaculture, Fishing News Books**, p.278, 1993.

HARTL, D.L. **Princípios de Genética de População**. Ed.3, p.41, 2008.

HEDRICK, P.W.; KALLINOWSKI, S.T. Inbreeding depression in conservation biology **Annual Review of Ecology Systematics**, v.31, p.139–162, 2000.

HILL, W.; MULDER, H.A. Genetic analysis of environmental variation. **Genetics Research**, v.92, p.381-395, 2010.

JOSEFA, M.; PANTE, R.; GJERDE, B.; MCMILLAN, I. Inbreeding levels in selected populations of rainbow trout , *Oncorhynchus mykiss*. **Aquaculture**, v.192, n.1432, p.213–224, 2001.

KAUSE, A.; RITOLA, O.; PAANANEN, T.; WAHLROOS, H.; M€antysaari, E.A. Genetic trends in growth, sexual maturity and skeletal deformations, and rate of inbreeding in a breeding programme for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v. 274, p. 177-187, 2005.

KELLER, L.E.; WALLER, D.M. Inbreeding effects in wild populations. **Trends in Ecology & Evolution**, v.17, n.5, p.230-241, 2002.

LARENAS, L.; ACUÑAS, M. Subsecretaria de Pesca y Acuicultura. **Manual de Piscirickettsiosis**, p.17, 2014.

LYNCH, M.; WALSH, B. **Genetics and analysis of quantitative traits**, p.980, 1997. MISZTAL, I.; TSURUTA, S.; LOURENCO, D.; MASUDA, Y.; AGUILAR, I.; LEGARRA, A. **Manual for BLUPF90 family of programs**, 2016.

MISZTAL, I.; TSURUTA, S.; LOURENCO, D.; MASUDA, Y.; AGUILAR, I.; LAGARRA, A. **Manual for BLUPF90 family of programs**, 2016.

MOSS, D.R.; ARCE, S.M.; OTOSHI, C.A.; DOYLE, R.W.; MOSS, S.M. Effects of inbreeding on survival and growth of Pacific white shrimp *Penaeus (Litopenaeus vannamei)*. **Aquaculture**, v.272, p.30-37, 2007.

NEIRA, R.; PAUL, J.; ARANEDA, C.; BUSTOS, E.; ALERT, A. Studies on carcass quality traits in two populations of Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*): phenotypic and genetic parameters. **Aquaculture**, v.21, p.117-131, 2004.

NEIRA, R.; DÍAZ, N.F.; GALL, G.A.E.; GALLARDO, J.A.; LHORENTE, J.P.; MANTEROLA, R. Genetic improvement in Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). I: Selection response and inbreeding depression on harvest weight. **Aquaculture**, v.257, p.9-17, 2006.

PANTE, M.J.R.; GJERDE, B.; MCMILLAN, I. Effect of inbreeding on body weight at harvest in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. **Aquaculture**, v.192, n.2-4, p. 201-211, 2001.

PONZONI, R.W.; KHAW, H.L.; NGUYEN, N.H.; HAMZAH, A. Inbreeding and effective population size in the Malaysian nucleus of the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v.302, n.1-2 p. 42-48, 2010.

QUIEROZ, S. A.; ALBUQUERQUE, L.G.; LANZONI, N. A. Efeito da endogamia sobre características de crescimento de bovinos da raça Gir no Brasil, **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.4, p. 1014-1019, 2000.

ROZAS, M.; ENRÍQUEZ. R. *Piscirickettsia salmonis*. LF-89 (ATCC VR-1361) a major pathogen of farmed salmonid fish. **Journal of Biotechnology**, v.212, p. 30-31, 2014.

RYE, M.; MAO, I.L. Nonadditive genetic effects of inbreeding depression for body weight in Atlantic salmon (*Salmon salar*). **Livestock Production Science**, v.57 n.15-22, 1998.

SALMONCHILE. **Industrias del salmon de Chile A.G.** 2016. Disponível em: <http://www.Salmonchile.cl>.

SERNAPESCA. **Situación Sanitaria Salmonicultura centro Marinos**, 2015. Disponível em: <http://www.sernapesca.cl>.

SU, G.S.; LILJEDAHL, LE; GALL, G.A.E. Effects of inbreeding on growth and reproductive traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, v.142, n. 139-148, 1996.

TOLEDO, C. "Producción y Exportaciones de la Salmonicultura Chilena: Actualizaciones y Análisis". **Fundação Terram**, n.10, 2016. Disponível em: <http://www.terram.cl>.

YAÑEZ, J.M.; MARTINEZ, V. Genetic factors involved in resistance to infectious diseases in salmonids and their application in breeding programmer. **Archivos de Medicina Veterinaria**, v. 42, n.2, p.1-13. 2010.

YAÑEZ, J.M.; HOUSTON, R.D.; NEWMAN, S. Genetics and genomics of diseases resistance in salmonids species. **Frontiers in Genetics**, v. 5, n.415, p 6-7, 2014.

YÁÑEZ, J.M.; BANGERA, R.; LHORENTE, J.P.; BARRÍA, A.; OYARZUN, M.; NEIRA, R.; NEWMAN, SCOTT. Negative genetic correlation between resistance against *Piscirickettsia salmonis* and harvest weight in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). **Journal homepage**, v.459, P.8-13, 2016.

YOSHIDA, G.M.; YÁÑEZ, J.M.; OLIVEIRA, C.A.L.; RIBEIRO, R.P.; LHORENTE, J.P.; QUEIROZ, S.A.; CARVALHEIRO, R. Mate selection in aquaculture breeding using differential evolution algorithm. **Aquaculture Research**, p.1-8, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org.10.1111/are.13365>.