

UNIVERSIDAD CATOLICA DE LA SANTISIMA CONCEPCION
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL EN BIOTECNOLOGIA ACUICOLA



**SOBREVIVENCIA DE OVAS DE TRUCHAS ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*)
EN EL CENTRO DE CULTIVO DE LA EMPRESA SALMONES CALETA BAY,
S.A. PUERTO MONTT**

MANUEL IGNACIO ALMUNA SALGADO

INFORME DE PROYECTO DE TITULO PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL EN BIOTECNOLOGIA ACUICOLA

Profesor Guía : Catterina Sobenes Vennekool

Profesor Informante : Pablo Venegas Cabello

Concepción, 24 de Julio de 2017.

Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar cómo los factores biológicos (pesos (kg), número de ovas (ovas/kg), madurez (%) por hembras) y ambiental (temperaturas (°C) del agua en sala de incubación) afectan en la sobrevivencia embrionaria en ovas de Truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en fase de incubación.

El estudio y toma de muestras, se llevó a cabo en el Centro de Cultivo Culili, Salmones Caleta Bay, S. A, Puerto Montt, comuna de Cochamó, X Región de los Lagos, Chile.

Para ello se seleccionaron 13 grupos de ovas de hembras reproductoras maduras del año 2016, las cuales fueron desovadas, desde el año 2014 al 2016 correspondiente al tercer año de desove con el fin de establecer cómo afectan dichos factores en ovas de (*O. mykiss*). Las variables evaluadas al momento del desove fueron: pesos (kg), número de ovas (ovas/kg), temperaturas (°C) del agua en sala de incubación y madurez (%). Se caracterizaron los datos mediante histogramas por grupos de hembras desovadas, para los años 2014, 2015 y 2016.

Se realizó un ANOVA de un factor y ANOVA factorial univariante, para comparar entre los grupos de edades de (*O. mykiss*). También se comparó cada variable biológica y ambiental, para determinar si existen diferencias sobre la sobrevivencia (%). Se realizó las comparaciones mediante análisis univariado (correlación de Pearson), para identificar las variables que influyen en la sobrevivencia (%) y si son estadísticamente significativa.

Luego, se elaboró un modelo predictivo de sobrevivencia embrionaria (%), para determinar si las condiciones biológicas y ambientales estudiadas favorecen a esta, se utilizó la ecuación de regresión lineal múltiple, luego se realizó modelos de coeficiente de regresión parcial, el cual consideró como valores iniciales (pesos (kg), número de ovas (ovas/kg), madurez (%) y temperatura prom. (°C) del

agua en sala de incubación por hembras para los parámetros de sobrevivencia (%).

Por último, se comparó escenarios evaluados, mediante el modelo de la ecuación de regresión lineal múltiple por grupos de hembra para las variables $w^4(kg)$ y NOV por grupos, que nos permitirá establecer una mayor acotación que favorezcan la sobrevivencia embrionaria (%) de ovas de (*O. mykiss*) en sala de incubación.

Los resultados indican que para el primer año de desove del año 2014 los pesos (kg) por grupos de hembras fueron de 4,18 kg y en el tercer año de desove de 2016 fue de 9,15 kg. Para grupos de hembras de (*O. mykiss*) en relación a la sobrevivencia (%) de 2014 fue de 45,05%, el cual aumentan para los años 2015 fue de 56,30 % y de 2016 fue de 79,77 %.

Para el análisis ANOVA de un factor, los $w^4(kg)$, número de ovas (ovas/kg), $\ln Temp$ y madurez (%) por grupos de hembras analizados sobre la sobrevivencia (%) no fue significativamente distintas ($p > 0,05$).

El N° de ovas (ovas/kg) por hembras arrojan una asociación débil y negativa ($r = -0,312$). Los pesos (kg), temperatura prom. (°C) en sala de incubación y madurez (%), sobre la sobrevivencia (%) señala que se trata de relaciones moderadas y positivas ($r = 0,705$), ($r = 0,440$) y ($r = 0,091$).

Las variables $w^4(kg)$ y NOV por hembra (*O. mykiss*) son variables biológicas que explican de mejor forma la varianza de la sobrevivencia (%) ($R^2 = 0,553$) en la ecuación para el modelo de regresión lineal múltiple.

De acuerdo a los resultados obtenidos por los escenarios evaluados de NOV y $w^4(kg)$, es posible observar las zonas de más baja sobrevivencia y las condiciones de mayor sobrevivencia (%), siendo las zonas óptimas hembras de mayor tamaño (> desde 6 a 10 kg) y en condiciones en que el NOV por kg de hembra es > 2000. En base a esto se deduce que existe un elevado porcentaje de

sobrevivencia (%) en ovas de (*O. mykiss*) para el año 2016 que en los otros (2014-2015).

Abstract

This research project aimed to determine whether biological (weight (kg), number of spawned eggs per kilo, eggs' maturity in female trouts) and environmental factor (temperature of water in incubation room in Celsius degrees) affect rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) eggs' embryonic survival, at the incubation stage.

The data collection was carried out at the Culili Salmon Farming Center, Salmones Caleta Bay Inc., Puerto Montt, Cochamó district, X Region, Chile.

For this study, in 2016, thirteen groups of rainbow trout eggs from their third spawning period were compared in weight (kg), number of eggs (eggs/kg) temperature (°C) of water in incubation room and maturity (%), to previous eggs temperature records (i.e., from 2014 to 2015). Data obtained was described in histograms per year.

One factor and a univariate factorial ANOVA analyzes were performed on the female spawned groups in order to describe data trends and compare and determine possible effects of the means of the variable above mentioned variables on eggs' embryonic survival, at the incubation stage. A Pearson coefficient was performed for the univariate analysis, and in order to identify factors that affect eggs survival (%) an statistical analysis of correlation was performed.

Additionally, to determine whether the biological and environmental variables under study predicted the eggs' embryonic survival (%), a linear multiple regression and coefficients of partial regression were used to model the latter. The analyzes considered the following variables: weight (kg), number of spawned eggs per kilo, eggs' maturity in female trouts and environmental factors (temperature of water in

incubation room in Celsius degrees, in the incubation room per female trouts on the survival parameters (%).

Lastly, a predictive model of linear regression of the eggs' embryonic survival was elaborated on the following factors: weight (kg)⁴ and number of spawned eggs per kilo (eggs/kg); hence, different scenarios were evaluated throughout box plots in order to establish which of the above factors favor the eggs' embryonic survival, at the incubation stage.

Results showed that the weight variable increases through the year of spawning (4.19kg in 2014 and 9.55kg in 2016). However, the percentage of female (*O. mykiss*) spawned eggs survival shown an erratic pattern; in this way, there was a decrease in the eggs survival in 2014 (45.05%) and an increase in the eggs survival in 2015 (56.30%) and in 2016 (79.77%).

For the ANOVA of a factor statistical analyses showed that weight (kg), number of eggs (eggs/kg) temperature (°C) at the incubation room and maturity (%) analyzed on eggs 'survival (%) were not significant ($p>0.05$).

In terms of the correlation between weights and number of eggs (eggs/kilo), there is a weak and negative correlation between them ($r=-0.312$). In terms of weight (kg) and temperature (°C) at the incubation room and maturity (%) on eggs 'survival (%) there are a positive and moderate correlation among them ($r=0.705$, $r=0.440$, $r=0.091$ respectively).

The weight (kg)⁴ and number of spawned eggs per kilo (eggs/kg) per female (*O. mykiss*) are the biological factors that better explained the eggs 'survival (%) ($R^2=0.553$) in the multiple linear regression equation.

Finally, and taking the above result into account, the scenarios between eggs/kg and kg⁴ showed that areas of low eggs 'survival and conditions that favor eggs 'survival. Specifically, female rainbow trouts with weight (> from 6 to 10 kg) and with

a number of spawned eggs (> 2000) are classified as optimal conditions. This influenced the high percentage of eggs 'survival (%) of (*O. mykiss*) eggs in 2016 but not in 2014 nor 2015.

Dedicatoria y Agradecimientos

En forma muy especial deseo agradecer a Dios, a mis padres por sus consejos, enseñanzas y cariños a lo largo de esta vida que han estado conmigo en todo momento. Agradecerles por el apoyo incondicional que tuve en los años de universidad que con altos y bajos estuvieron a mi lado. A mis hermanos por su constante apoyo.

A cada uno de los profesores que a lo largo de mi carrera universitaria me entregaron sus conocimientos que me han otorgado para desenvolverme hacia el futuro profesional, gracias a mis compañeros de carrera por el apoyo y perseverancia.

A mi profesora guía Catterina Sobenes Venekool por ser su alumno tesista y por sus comentarios, opiniones, correcciones y sugerencias positivas en cada revisión del informe de tesis.

También agradecer a la Empresa Caleta Salmones Bay, S.A, quienes, a través de su ayuda, hicieron posible realizar mi practica y elaboración de mi tesis, al Sr. Rodrigo Salgado por su confianza depositada en mí y a la Srta Karen Vega Vega, jefe de centro y a todos los operarios que trabajan en dicha piscicultura por sus enseñanzas, cooperación y apoyo.

Índice de Contenidos

Resumen	i
Abstract	iii
Dedicatoria y Agradecimientos	vi
I. Introducción	1
1.1 Objetivo general	5
1.2 Objetivos específicos.....	5
1.3 Justificación del problema	5
1.4 Delimitación del problema	6
II. Antecedentes	7
2.1 Biología de la Trucha arcoíris (<i>O. mykiss</i>).....	7
2.2 Clasificación taxonómica: (Camacho <i>et al.</i> , 2000).....	7
2.3 Hábitos alimenticios.....	8
2.4 Etapas de desarrollo de la trucha	8
2.5 Parámetros de Cultivo	9
2.6 Estado de madurez	11
2.7 Desarrollo de reproductores	13
2.8 Obtención de gametos y fertilización.....	13
2.9 Producción de viveros	13
2.11 Factores que afectan a la sobrevivencia de ovas en peces	14
2.11.1 Factores intrínsecos.....	16
2.11.2 Factores asociados al manejo	17
2.11.3 Factores asociados a los reproductores	18

III. Metodología	19
3.1 Objetivo específico 1	19
3.1.1 Caracterizar la sobrevivencia embrionaria en ovas de Trucha Arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) del Centro de Cultivo de la empresa Salmones Caleta Bay, S.A. Puerto Montt.	19
3.2 Objetivo específico 2	26
3.2.1 Evaluar la relación entre la sobrevivencia embrionaria de ovas y los factores biológicos y ambientales registrados por la empresa.....	26
3.3 Objetivo específico 3	27
3.3.1 Estimar un modelo predictivo de sobrevivencia embrionaria de ovas para proponer condiciones biológicas y ambientales que favorezcan la sobrevivencia.....	27
IV. Resultados	29
V. Discusión	54
VI. Conclusiones	59
VII. Referencias Bibliográficas	61
VIII. Anexos	71

Índice de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Datos codificados por grupos para la variable transformada w^4 (kg) de hembras de (<i>O. mykiss</i>).....	24
Tabla 2: Datos codificados por grupos para la variable N° ovas (ovas/kg) de hembras de (<i>O. mykiss</i>).....	24
Tabla 3: Datos codificados por grupos para la variable transformada Ln Temp de hembras de (<i>O. mykiss</i>).	24
Tabla 4: Datos codificados por grupos para la variable madurez (%) en hembras desovadas de (<i>O. mykiss</i>).	25
Tabla 5: Estadísticos descriptivos de la sobrevivencia embrionaria (%), pesos (kg), N° de ovas totales, temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación y madurez (%) por grupos de hembras entre los años 2014-2016	29
Tabla 6: ANOVA de un factor, para las variables dependientes sobrevivencia (%), w^4 (kg), N° ovas (ovas/kg) y Ln temp por hembras (<i>O. mykiss</i>) por grupos de hembras.....	37
Tabla 7: ANOVA Factorial para los efectos w^4 (kg), Ln temp y N° de ovas totales (ovas/kg) por grupos de hembras desovadas como factores sobre la sobrevivencia (%) para (<i>O. mykiss</i>).	38

Tabla 8: Correlación para las variables: pesos (kg) hembras, N° ovas totales (ovas/kg) por hembras y temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación.....	48
Tabla 9: Coeficiente de regresión parcial para el modelo de regresión lineal múltiple, con sobrevivencia (%) como variable dependiente	49
Tabla 10: Coeficiente de regresión parcial para el modelo de regresión lineal múltiple, con sobrevivencia (%) como variable dependiente	50
Tabla 11: Coeficiente de regresión parcial para el modelo de regresión lineal múltiple, con sobrevivencia (%) como variable dependiente	50

Índice de Figuras

Pág.

Figura 1: Trucha Arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>). Fuente: Salmon Chile (2016)....	7
Figura 2: Ciclo productivo de la Trucha Arcoíris (<i>O. mykiss</i>). Fuente: FAO, 2006. Programa de información de especies acuáticas (<i>O. mykiss</i>).	11
Figura 3: Clasificación macroscópica de los cinco estados de madurez para la Truchas arcoíris (<i>O. mykiss</i>), según Knut Dahl.....	12
Figura 4: Distribución normal para la variable sobrevivencia (%) de (<i>O. mykiss</i>). .	31
Figura 5: Distribución normal para la variable (w^4 (kg) de hembras de (<i>O. mykiss</i>)).	31
Figura 6: Distribución normal para la variable N° ovas (ovas/kg) de hembras de (<i>O. mykiss</i>).....	32
Figura 7: Distribución normal para la variable (Ln temp de (<i>O. mykiss</i>)).....	32
Figura 8: Distribución normal para la variable madurez (%) de hembras de (<i>O. mykiss</i>).....	33
Figura 9: Sobrevivencia (%) en relación a los grupos de hembras desovadas por años. Fuente: Elaboración propia.	33
Figura 10: Pesos prom. (kg) en relación a los grupos de hembras desovadas por años. Fuente: Elaboración propia.	34

Figura 11: N° Ovas (ovas/kg) totales en relación a los grupos de hembras desovadas por años. Fuente: Elaboración propia.....	35
Figura 12: Temperatura prom. (°C) en sala de incubación en relación a los grupos de hembras desovadas por años. Fuente: Elaboración propia.....	35
Figura 13: Madurez (%) en relación a los grupos de hembras desovadas por años. Fuente: Elaboración propia.....	36
Figura 14: Distribución de sobrevivencia (%) según temperatura prom. (°C) en sala de incubación en ovas de truchas arcoíris (<i>O. mykiss</i>) para los años 2014, 2015 y 2016.	39
Figura 15: Relación entre la Sobrevivencia (%) y Pesos (kg) por hembras a través de los desoves entre los años 2014, 2015 y 2016.....	40
Figura 16: Relación entre la Sobrevivencia (%) y Temperatura prom. (°C) en sala de incubación por hembras a través de los desoves entre los años 2014, 2015 y 2016.	41
Figura 17: Relación entre la Sobrevivencia (%) y N° de ovas (ovas/kg) por hembras a través de los desoves entre los años 2014, 2015 y 2016.	42
Figura 18: Relación entre la Sobrevivencia (%) y Madurez (%) de hembras desovadas a través de los desoves entre los años 2014, 2015 y 2016.	43
Figura 19: Distribución de sobrevivencia (%) según (w^4 (kg) en ovas de truchas arcoíris (<i>O. mykiss</i>) por grupos.....	44
Figura 20: Distribución de sobrevivencia (%) según ln temp en ovas de trucas arcoíris (<i>O. mykiss</i>) por grupos.....	45

Figura 21: Distribución de sobrevivencia (%) según N° de ovas totales (ovas/kg) en ovas de truchas arcoíris (<i>O. mykiss</i>) por grupos.....	46
Figura 22: Distribución de sobrevivencia (%) según madurez (%) de hembras desovadas de truchas arcoíris (<i>O. mykiss</i>) por grupos.....	47
Figura 23: Modelo de estimación de sobrevivencia (%) de ovas en relación a los w^4 (kg) y NOV.....	52

Índice de Anexos

	Pág.
Anexo 1: Contrastes de Levene sobre la igualdad de varianza para $w^4(\text{kg})$ por grupos de hembras (<i>O. mykiss</i>).....	71
Anexo 2: Contraste de Levene sobre la igualdad de varianza para N° ovas (ovas/kg) por grupos de hembras (<i>O. mykiss</i>).....	71
Anexo 3: Contraste de Levene sobre la igualdad de varianza para Ln temp por grupos de hembras (<i>O. mykiss</i>).....	71
Anexo 4: Contraste de Levene sobre la igualdad de varianza para las interacciones en $w^4(\text{kg})$, N° ovas totales (ovas/kg) y Ln temp por grupos de hembras (<i>O. mykiss</i>).....	71
Anexo 5: Prueba de Normalidad K-S de la variable Supervivencia (%).....	72
Anexo 6: Prueba de Normalidad K-S para la variable $w^4(\text{kg})$ de hembras (<i>O. mykiss</i>) por grupos.....	72
Anexo 7: Prueba de Normalidad K-S para la variable N° ovas totales (ovas/kg) de hembras (<i>O. mykiss</i>) por grupos.....	72
Anexo 8: Prueba de Normalidad K-S para la variable Ln temp de hembras (<i>O. mykiss</i>) por grupos.....	72
Anexo 9: Prueba de Normalidad K-S para la variable madurez (%) de hembras (<i>O. mykiss</i>) por grupos.....	72

Anexo 10: Distribución no normal para la variable pesos (kg) de hembras de (<i>O. mykiss</i>).....	73
Anexo 11: Distribución no normal para la variable temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación de hembras de (<i>O. mykiss</i>).	73
Anexo 12: Medidas de distribución para la variable temperatura prom. (°C) en sala de incubación en los diferentes años.....	74
Anexo 13: Medidas de distribución para la variable sobrevivencia (%) en ovas de (<i>O. mykiss</i>) en los diferentes años.....	74
Anexo 14: Resumen del modelo de Regresión Lineal Múltiple, sobre la sobrevivencia (%) en ovas de (<i>O. mykiss</i>).....	74
Anexo 15: Resumen de estimación de sobrevivencia (%), NOV y w^4 (kg) de (<i>O. mykiss</i>) por grupos de hembras 2014.....	75
Anexo 16: Resumen de estimación de sobrevivencia (%), NOV y w^4 (kg) de (<i>O. mykiss</i>) por grupos de hembras 2015.....	75
Anexo 17: Resumen de estimación de sobrevivencia (%), NOV y w^4 (kg) de (<i>O. mykiss</i>) por grupos de hembras 2016.....	76

I. Introducción

La salmonicultura en Chile ha sido uno de los principales motores del sostenido crecimiento exportador de los últimos 20 años, debido básicamente, a su dinamismo y asociatividad presente en la industria (SalmonChile, 2016).

El cultivo de salmónidos constituye una actividad comercial importante para la economía nacional. Este tipo de cultivo se ha transformado en la cuarta actividad económica en Chile después de la minería, la actividad forestal y la producción frutícola. Se desarrolla principalmente en las regiones X, XI y XII (Soto y Norambuena, 2004). Las tres especies cultivadas en nuestro país son salmón del atlántico (*Salmo salar*), salmón coho (*Oncorhynchus kisutch*) y trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) (Bushman *et al.*, 2006).

El desarrollo de la salmonicultura en las regiones X y XI se vió favorecida por las condiciones naturales que reúne la geografía de estas regiones; los sistemas de mares interiores, fiordos, mareas que permiten renovación del agua y la temperatura promedio (°C) que permite un crecimiento de peces durante todo el año (Salgado, 2005). Pese a que el salmón no es una especie natural de las costas chilenas, las condiciones climáticas y ambientales de la zona austral, han permitido una exitosa inserción de esta especie (Furci y Pinto, 2006).

La trucha arcoíris (*O. mykiss*) alcanza su tamaño comercial entre 30 y 40 cm, y una masa de 2,5 a 3,0 kg en un lapso de 9 meses, aunque algunos de estos peces son engordados por períodos superiores a 20 meses para alcanzar mayor masa y tamaño (FAO, 2012). Es comercializada principalmente hacia Estados Unidos, Japón, Brasil, entre otros (FAO, 2014). Las cosechas acumuladas al mes de abril del 2014 alcanzaron las 36,1 mil ton., lo que significó una disminución en un 2,3% respecto de lo registrado a igual mes en el año 2015 (Subpesca, 2016).

Las principales regiones donde se producen las cosechas corresponden a la X y XI región con 14,5 y 12,8 mil ton. respectivamente (Subpesca, 2016).

Entre enero y noviembre del 2015, la industria salmonicultora nacional importó 41,49 millones de ovas, registrando un aumento del 13% frente a las 36,66 millones de ovas importadas en el mismo periodo del 2014. Según el más reciente informe publicado por Sernapesca, 2015, se importó 11,87 millones de ovas de trucha arcoíris en los primeros once meses del año, evidenciándose una disminución del 40,4% en contraste con las 19,93 millones de ovas importadas en la misma época del año anterior (Salmonexpert, 2015).

Entre los años 2011 y 2016 las estadísticas de importación de ovas por origen, muestran que Chile solo ha traído unas 880.000 mil ovas de truchas arcoíris, hasta el 16 de enero del año 2016, lo que significa un 64% menos que el año 2015. En cuanto al material genético, un 100% provino directamente de Dinamarca (Sernapesca, 2016).

En enero del 2016 no se consignaron importaciones de ovas de salmón del atlántico, situación que difiere de lo ocurrido en igual fecha de 2015, cuando se importaron 7.400.000 ovas. Lo anterior se debe a que las fronteras del país estuvieron cerradas momentáneamente por la detección de un patógeno en peces silvestres de Islandia, la única nación autorizada por Chile para importar ovas (Sernapesca, 2016). En los años 2007 y 2008, la industria salmonicultora nacional importó cerca de 300 millones de ovas, reduciendo gradualmente estas importaciones, alcanzando las 100 millones de ovas durante el año 2010, menos de 80 millones en el 2012 y algo más de 40 millones durante los años 2014 y 2015 (Salmonexpert, 2016).

Los principales problemas registrados en la etapa de incubación de las ovas son: hongos del genero *saprolegnia*, que se encuentran en todas las fuentes de agua dulce. Por otra parte se suma la manipulación inadecuada de las ovas que causan “manchas blancas”, debido a una ruptura o debilitamiento de la membrana del vitelo y coágulos en su interior, posiblemente debido a los efectos de metales pesados del agua, como zinc y cobre que registran mortalidades masivas en ovas

que van desde enfermedades de carácter infeccioso a cuadros de etiología desconocida o multifactorial (Jarpa, 1988).

Los problemas originados durante la etapa de ova van a repercutir posteriormente durante la etapa de alevín con saco, existiendo un número de enfermedades no infecciosas que están asociadas con cambios físicos en el agua y enfermedades asociadas directamente con genética, causando mortalidades variables en los alevines (Roberts, 1989).

Durante la fase de incubación de ovas, uno de los mayores problemas que se originan lo constituye el ataque producido por hongos oportunistas presentes en el agua (Roberts, 2001).

Bajo condiciones de cultivo, la sobrevivencia (%) de ovas, peces jóvenes y adultos están interrelacionados con varios factores, entre ellos: la alimentación, condición genética de los reproductores, manejo y calidad de agua (Bastardo, 1988). Además, se registran mortalidades masivas de ovas por causa no aún atendidas que pueden hallarse asociadas a la calidad y estado sanitario de los reproductores utilizados (Burgos, 1999). Posiblemente muchos de estos problemas originados durante la etapa de ova podrían repercutir posteriormente durante la etapa de alevín con saco, causando mortalidades variables en los alevines (Burgos, 1999).

Otro aspecto a considerar es el tamaño del ovocito, el cual registra una relación directa con la longitud (Bromage *et al.*, 1990) y peso (Islam *et al.*, 1973) de la hembra de trucha arcoíris (*O. mykiss*). Según Kato y Kamler (1983), en grupos de hembras reproductoras de 2 a 4 años no se observan diferencias significativas en la sobrevivencia de embriones durante la fase de incubación. Existe una disminución de la viabilidad de la ova conforme pasa el tiempo, lo que se asocia con que las hembras de mayor edad puede relacionarse con contenidos de lípidos superiores en las ovas (Kjorsvik *et al.*, 1990).

En época de desoves la calidad de los aparatos reproductivos sexuales (ovarios y testículos de *O. mykiss*) puede ser alterada por las características genéticas de la población, factores ambientales y régimen alimenticios (Pohl-Branscheid y Holtz, 1990).

Cualquier variación importante en estos parámetros afecta la eficiencia reproductiva de las hembras, alterando el desarrollo normal de los gametos, calidad de los ovocitos e índices de maduración (Zhang *et al.*, 1990).

Los centros de cultivo enfrentan desafíos cada vez más complejos como el control de hongos en etapa de incubación, donde se reportan un aumento considerable de mortalidad, monitoreo de parámetros de calidad de agua y situaciones sanitarias en peces que es un factor fundamental para obtener un buen rendimiento productivo y económico (Coll, 1991). En ovas de (*O. mykiss*) del centro de cultivo Culili, Salmones Caleta Bay S.A., se encuentran ovas sobremaduras y residuos con sangre, específicamente, debido a ovas de años anteriores que quedaron para el siguiente desove o simplemente por tumores en el interior de las hembras, debido a los manejos realizados por los operarios (selección y/o palpaje).

Se estima que existen factores biológicos y ambientales que estarían afectando a las ovas de truchas arcoíris (*O. mykiss*) en fase de incubación de este centro, como por ejemplo edad de reproductores maduros, temperatura (°C) o calidad del agua que afecta la productividad en sala de incubación.

Considerando lo anterior, en este trabajo de investigación se busca determinar los factores biológicos y ambientales que afectan en la sobrevivencia embrionaria (%) de truchas arcoíris (*O. mykiss*), todo aplicado principalmente en fase de incubación, donde dichos factores pueden afectar la sobrevivencia embrionaria (%). Así mismo, se busca relacionar las variables biológicas y ambientales para detectar aquellas que explicarán la sobrevivencia (%), de manera de generar

gestión sobre éstas y aumentar la productividad del centro. Ello será realizado según los datos disponibles por la empresa de Salmones Caleta Bay S.A.

1.1 Objetivo general

El objetivo general de este trabajo de investigación es determinar los factores biológicos y ambientales que afectan en la sobrevivencia embrionaria de Truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en el centro de Cultivo de la empresa Salmones Caleta Bay, S.A. Puerto Montt.

1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la sobrevivencia en ovas de Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) del Centro de Cultivo de la empresa Salmones Caleta Bay, S.A. Puerto Montt.
- Evaluar la relación entre la sobrevivencia embrionaria de ovas y los factores biológicos y ambientales registrados por la empresa.
- Estimar un modelo predictivo de sobrevivencia embrionaria de ovas para proponer condiciones biológicas y ambientales que favorezcan la sobrevivencia.

1.3 Justificación del problema

El control de la viabilidad de las ovas en peces es un primer acercamiento para la determinación de la sobrevivencia (%) al finalizar el ciclo de incubación. En un centro de cultivo la producción de un elevado número de alevines viables que llegan al final del ciclo es importante ya que adicionalmente expresan una alta sobrevivencia en estados posteriores (Lubzens *et al.*, 2009), favoreciendo a la productividad final en biomasa de la empresa.

Se han considerado factores como edad de los reproductores, temperaturas (°C) del agua en sala de incubación, pesos de hembras (kg) a través del tiempo, madurez (%) y número total de ovas (ovas/kg) por hembras, los que podrían tener una estrecha relación en la sobrevivencia (%) afectando al desempeño

reproductivo de los centros de cultivo y la viabilidad en ovas. Por lo tanto, su identificación permitirá a la empresa realizar gestiones sobre ellas, mejorando sus procesos y condiciones.

Además, considerar la necesidad de elaborar un modelo predictivo y escenarios evaluados que favorecerá a simular distintas condiciones entre variables ambientales y biológicas, prediciendo la sobrevivencia (%) esperada.

1.4 Delimitación del problema

El estudio considera los datos obtenidos desde la empresa centro de cultivo Culili, Salmones Caleta Bay, S. A, en la X Región; Región de los Lagos, Puerto Montt, comuna de Cochamó.

Dicho centro se encarga de la incubación de ovas, producción de alevines y smolt en piscicultura en tierra, para luego ser llevados al periodo de engorda en los centros de agua de mar.

Se evaluaron datos históricos de los años 2014, 2015 y 2016 entregados por la empresa, donde se recopiló y analizó los diferentes años de desoves de cada hembra madura según: años de reproductores, temperaturas (°C) del agua en sala de incubación por cada grupo de ovas por hembras desovadas, pesos (kg), número de ovas (ovas/kg) por hembras, madurez (%) para determinar los factores que afectan en la sobrevivencias embrionarias (%) en los diferentes años de desoves, tanto en factores biológicos como ambientales. Para la variable ambiental se consideró el monitoreo diario de temperatura (°C) del agua en sala de incubación.

II. Antecedentes

2.1 Biología de la Trucha arcoíris (*O. mykiss*)



Figura 1: Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Fuente: Salmon Chile (2016).

2.2 Clasificación taxonómica: (Camacho *et al.*, 2000)

Familia	:	Salmonidae
Género	:	<i>Oncorhynchus</i>
Especie	:	<i>Oncorhynchus mykiss</i>
Nombre común	:	Trucha Arcoíris

Es un pez de cuerpo fusiforme, es de color azulado y flancos laterales de color plateado iridiscente, la parte ventral es blanco cremoso tanto en el dorso como en los flancos, posee una gran abundancia de lunares negros y marrones distribuida en todo el cuerpo, en el cual es alargado, ligeramente comprimido de una longitud de la cabeza del 20% de la longitud total, esto es sobre todo en machos, dependiente el grado de madurez sexual (Blanco, 1994).

Ojos de tamaño moderado, boca terminal ligeramente oblicua, algunas veces grandes; pre maxilar protráctil, dientes bien desarrollado sobre las dos mandíbulas -pre maxilar, maxilar y dentario- (Blanco, 1994).

La mayoría de los peces desova sólo una vez, el ajuste del fotoperíodo ha producido cepas de criadero que pueden madurar más temprano y desovar todo el año (FAO, 2006).

Las hembras son capaces de producir hasta 2.000 ovas/kg de peso corporal. Las ovas son de diámetros relativamente grandes (3-7 mm) (FAO, 2012).

La selección de características superiores también se logra por entrecruzamiento, aumentando las tasas de crecimiento, resistencia a las enfermedades, fecundidad y mejorando la calidad y sabor de la carne (FAO, 2012).

2.3 Hábitos alimenticios

La trucha arcoíris (*O. mykiss*) en su estado natural es un pez de hábitos carnívoros, durante los estados larvales se alimentan del saco vitelino, cuando empieza el consumo de alimento exógeno se alimenta principalmente de zooplancton y posteriormente consume crustáceos, moluscos y pequeños peces (Sánchez, 2004).

Al pasar a la etapa juvenil o de adulto complementan su alimentación con crustáceos, moluscos, etc. La trucha arcoíris (*O. mykiss*) al estar en un sistema de cultivo intensivo depende de su alimentación completamente de alimentos balanceados ricos en proteínas (Sánchez, 2004).

2.4 Etapas de desarrollo de la trucha

El desarrollo de la trucha comprende 4 etapas:

- a) Ova: Son los huevos fecundados que eclosionan para convertirse en larva (promedio aproximado de 30 días); la velocidad de desarrollo de los huevos depende en gran medida de la temperatura (°C) del agua (Ragash, 2009).
- b) Alevinaje: Son peces pequeños, miden de 3 a 10 cm, con un peso entre 1,5 a 20 gr. Esta etapa transcurre desde la reabsorción de la vesícula vitelina hasta

que los alevines tengan una longitud de 5 cm. El periodo de alevinaje puede tardar entre 2 y 3 meses dependiendo de los factores ambientales y en este momento comienzan a darse una serie de cambios propios de la etapa juvenil. El crecimiento depende de la temperatura (°C) del agua (Bastardo *et al.*, 1988).

- c) Juvenil: Son peces totalmente formados entre 10 a 15 cm, con un peso aproximado de 20 a 100 gr. Es la etapa de mayor crecimiento e incremento de biomasa, dura entre unos 3 a 5 meses dependiendo de las condiciones ambientales, en esta etapa se comienzan a manifestar componentes del desarrollo sexual en los machos, y aparecen, en su totalidad, caracteres de adultos tales como las moteaduras de la piel (en caso de haberlas) (Ragash, 2009). En esta etapa, el rápido crecimiento de los peces comienza a demandar más espacio, por lo que estos se colocan en estanques más grandes. Además, este lapso también representa una alta tasa de actividad metabólica y por consiguiente un gran consumo de alimento (Ragash, 2009).
- d) Adulto: Las truchas maduran entre los 15 y 18 meses, cuando ocurre la maduración, los peces cambian de coloración, de tal manera que adquiere las características típicas de la trucha adulta (Ragash, 2009).

2.5 Parámetros de Cultivo

La calidad del agua es fundamental en un centro de cultivo de truchas, debido que es el medio donde los peces se desarrollan, así que al conocer y mantener los parámetros de cultivo es de suma importancia para tener una buena producción y características deseadas, estas son:

- a) Temperatura (°C) del agua: es aquel que determina el nivel productivo de un cultivo, debido a que la temperatura corporal de los peces, rige el metabolismo de los alimentos, crecimiento y la inmunidad. Influye en el desarrollo embrionario, éxito en la eclosión de las ovas y sobrevivencia larval en peces (Camuss y Koustikopoulos, 1984). Controla el tiempo de incubación de las

ovas y la sobrevivencia de embriones y larvas, para lo cual, cada especie requiere de un rango óptimo de temperatura para su desarrollo, cuando las ovas son incubados fuera de este intervalo, el desarrollo embrionario puede acelerarse o retardarse, produciendo embriones y larvas deformes, bajos porcentajes de eclosión y elevada mortalidad de larvas eclosionadas (Radoniae *et al.*, 2005).

En cultivo artificial los límites de temperaturas (°C) del agua en los cuales su crecimiento y desarrollo son los adecuados es entre los 9 y 17 °C, siendo en la etapa de alevín entre 10-12 °C (Aquino, 2009).

Es necesario tener patrones de referencias de etapas de desarrollo en relación a las UTA (unidad térmica acumulada), para la trucha arcoíris (*O. mykiss*).

- Ova verde – Ova ojo: 260 - 300 UTA
- Ova ojo – Eclosión: 300 - 340 UTA
- Eclosión – Inicio alimentación: 800 - 900 UTA (Miranda, 2013).

b) Oxígeno Disuelto (OD): este limita la producción y por ende la densidad de siembra (peces), en las distintas explotaciones acuícola. Tomando en cuenta las diferentes exigencias de las especies, estas necesidades varían de acuerdo con el rendimiento esperado de las explotaciones. Se estima que los peces en crecimiento deben tener continuamente concentraciones mínimas de oxígeno de 5 a 5,5 mg/l (miligramo/litro), mientras que las ovas y alevines son más exigentes, demandando de 6 a 7 mg/l (miligramo/litro) (Aquino, 2009).

Al mismo tiempo los niveles bajos de oxígenos producen una interrupción en el crecimiento, aumenta el F.C del alimento e incrementa la sensibilidad de las enfermedades (Kinkelin y Ghittino, 1985).

c) Fotoperiodo: se define como espacio de tiempo o duración de luz, básicamente en retrasar la época de invierno y alargar la época de verano a través de la

aplicación de luz artificial. Se han realizado trabajos con regímenes de fotoperiodo constantes en truchas arcoíris, sometiéndolas a periodos luz/oscuridad (L/O) 18:6 de enero a mayo, seguidas por una repentina reducción en los meses restantes a (L/O) 6:18, resultando desoves de 3 a 4 meses antes que el grupo control (Whitehead y Bromage, 1980).

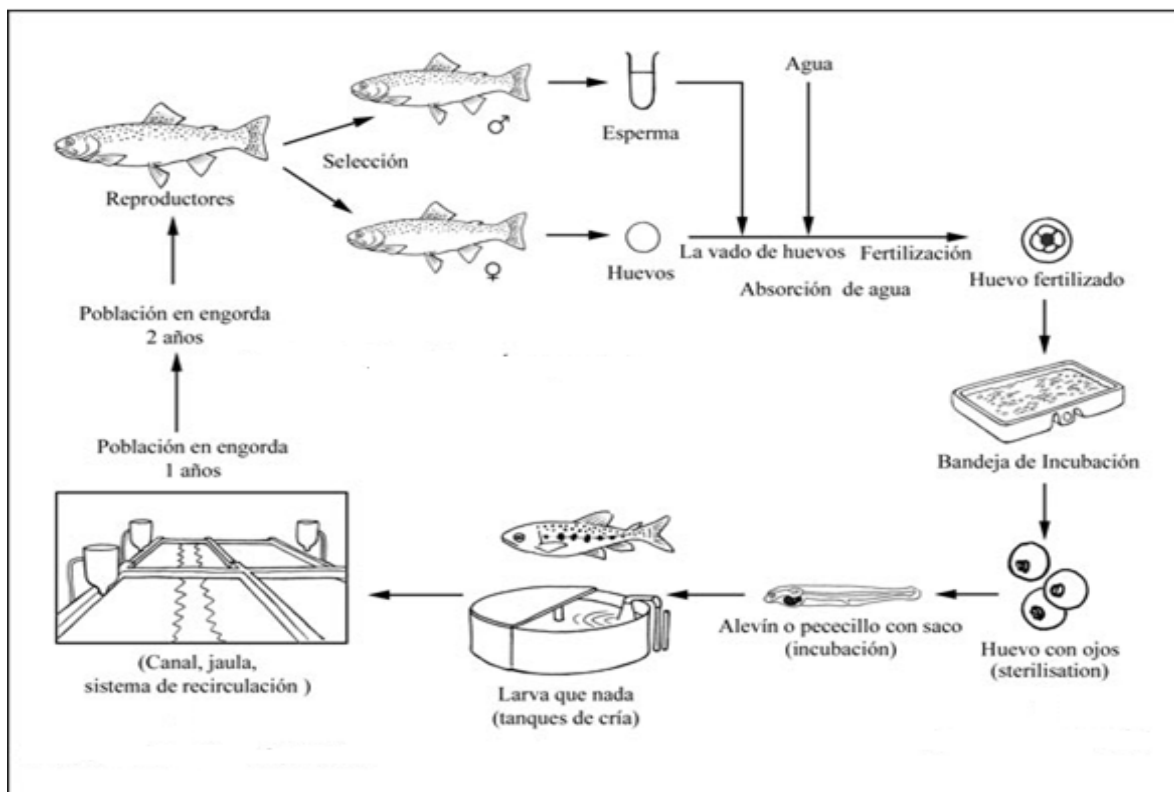


Figura 2: Ciclo productivo de la Trucha Arcoíris (*O. mykiss*). Fuente: FAO, 2006. Programa de información de especies acuáticas (*O. mykiss*).

2.6 Estado de madurez

La trucha arcoíris tiene un ciclo reproductivo anual donde los primeros signos de desarrollo del ovocitos e incremento en la actividad hormonal ocurren 12 meses antes de la ovulación (Hume, 1955). La edad y talla de la primera madurez sexual en la trucha arcoíris al igual que en otros salmónidos, es variable entre y dentro de las poblaciones (Thorpe, 1989).

Según Kwain (1975) estableció que las truchas alcanzan su madurez sexual entre los 2 y 5 años de edad, generalmente a los 2 y 3 años. Se sabe que los machos de truchas arcoíris pueden alcanzar su primera madurez sexual desde los 9 meses (Van Someren, 1939) hasta los 2 años (Kwain, 1975).

Según Knut Dahl, 1917 describen cinco estados, estos son:

- I. Las gónadas se observan como dos ovarios cortos en forma alargada (dos líneas finas a lo largo de la cavidad superior).
- II. Las ovas son visibles, pero reducidas.
- III. Gónadas distendidas, ocupan por lo menos la mitad del cuerpo.
- IV. Las gónadas completan casi la cavidad del cuerpo.
- V. Las gónadas completan la cavidad del cuerpo.

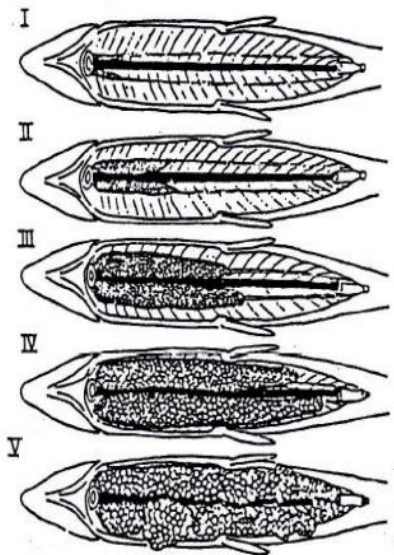


Figura 3: Clasificación macroscópica de los cinco estados de madurez para la Truchas arcoíris (*O. mykiss*), según Knut Dahl.

El estado I y II es el estado donde los peces son inmaduros (ver figura 3), en el estado III se puede decir con certeza que los peces deberían tener ovas la siguiente estación si estos sobrevivieran. Desde el estado III al V se consideran peces maduros (Knut Dahl, 1917).

2.7 Desarrollo de reproductores

Las hembras son desovadas artificialmente por peces reproductores maduros de 2 años, los machos y hembras se mantienen generalmente separados. Se estima una proporción sexual de tres machos por una hembra para los reproductores (FAO, 2006).

Los reproductores son seleccionados para crecimiento rápido y maduración tardía (usualmente después de los 2 años) (FAO, 2006).

2.8 Obtención de gametos y fertilización

El método de fertilización de la trucha arcoíris más común es en seco, sin adición de agua. Las ovas son removidas manualmente desde hembras ya anestesiadas, aplicando presión desde las aletas pélvicas hasta el área ventral (FAO, 2006).

Son recolectados en un recipiente hasta 2.000 (ovas/kg) del peso corporal y mantenidos en seco para mejorar la fertilización (FAO, 2006).

Los machos son tratados de la misma manera que las hembras; recolectando el semen en un recipiente, evitando la contaminación con orina o agua. Se recomienda mezclar el semen de tres o cuatro machos antes de la fertilización. Se adiciona agua para activar los espermios y causar un aumento de tamaño de las ovas (alrededor del 20% al llenarse el espacio perivitelino entre cascara y yema), proceso conocido como endurecimiento de la ova. Las ovas ya fertilizadas pueden ser transportadas después de 20 min. y hasta 48 hrs. después de la fertilización, la exposición directa a la luz debe ser evitada durante el proceso de las etapas de desarrollo, debido a que provocará la muerte de los embriones (FAO, 2006).

2.9 Producción de viveros

Las ovas son incubadas hasta la etapa de ova con ojos, en bateas de incubación. A medida que las ovas eclosionan (4-14 semanas) los alevines caen a través de la malla a una batea inferior. Los alevines con saco pueden permanecer en las

bandejas hasta que comiencen a nadar, alrededor de 10 a 14 días después de la eclosión (FAO, 2006).

El periodo que toma la eclosión de ovas de truchas arcoíris va dependiendo de la temperatura (°C) del agua (100 días a 3,9 °C y 21 días a 14,4 °C) alrededor de 370 UTAS (FAO, 2006).

Las truchas eclosionan con una reserva de alimento en un saco vitelino, el cual tiene una duración de 2 a 4 semanas (FAO, 2006).

2.10 Crianza de alevines

Los alevines son cultivados en estanques de fibra de vidrios de forma circular, para mantener una distribución uniforme de los alevines y corriente regular. A medida que continúa el crecimiento, se monitorea el oxígeno disuelto y los peces son llevados a estanques más grandes para reducir la densidad (FAO, 2006).

A partir del año 2014, se han mantenido cultivo de población de (*O. mykiss*), en las instalaciones del centro de cultivo Culili, Puerto Montt. Se establecieron a partir de hembras reproductoras, las cuales fueron desovadas y fertilizadas, para posteriormente incubar las ovas fecundadas bajo condición de cultivo.

2.11 Factores que afectan a la sobrevivencia de ovas en peces

La evaluación que aborda la literatura en factores de sobrevivencia embrionaria con respecto a la calidad en ovas y larvas en (*O. mykiss*) es abundante, pero se caracteriza con pocas referencias en las que las variables se consideran de forma integral, como se observa en algunos modelos ya disponibles para otras especies (Lahnsteiner *et al.*, 2008), en los que parece haber alcanzado niveles superiores de precisión en términos predictivos de viabilidad embrionaria.

En los sistemas de cultivo a gran escala en los niveles de incubación y larvicultura, puede alcanzar pérdidas de un 50% durante el proceso hasta la eclosión

(Bromage *et al.*, 1992), solo un 35% de las ovas obtenidas alcanzan finalmente a ser alevines de tamaño comercial (Bromage *et al.*, 1986); estos valores promedios surgen de seguimientos sobre grupos de ovas cuya sobrevivencia reportan entre 76 y 100% hasta la fase de embrionamiento o incluso casos entre 0 y 90% hasta la eclosión (Blanc, 2002).

Bobe y Labbé (2010), establecen que la calidad de un gameto se define con base en su capacidad para fertilizar o ser fertilizado y, de allí, surge una combinación efectiva que permite obtener un embrión normalmente desarrollado.

Los factores de calidad se pueden agrupar como parámetros de carácter físico, químico y genético (Kjorsvik *et al.*, 1990), incluyendo además los relacionados con los procesos iniciales que ocurren en el momento de la fertilización. De acuerdo a la definición que amplían Lahnsteiner *et al.*, (2008), quienes clasifican como factores intrínsecos (edad de los reproductores, componentes genéticos, morfología, composición y talla del ovocito, entre otros) o extrínsecos (estado de maduración, condiciones de manejo, manipulación, incubación, calidad del agua, entre otros).

La biología reproductiva de machos y hembras de truchas difiere en diferentes aspectos, entre ellos la edad a la cual maduran sus gametos; en el caso de los machos ocurren al año de edad, mientras que las hembras maduran a los dos años (Bastardo, 1999).

El fotoperiodo es el factor limitante determinante para la gametogénesis en los salmónidos, se efectúa artificialmente con fotoperíodo decreciente y fotoperíodo acortado, se puede obtener la ovulación de forma precoz (Barnabe *et al.*, 1996). La manipulación del fotoperiodo en el cultivo de peces es utilizado para modificar el ciclo reproductivo, mejorar la sincronía de la maduración sexual, inducir el desove e incluso resolver problemas de sobrepoblación (Kissil *et al.*, 2001). Estas modificaciones pueden ser generadas mediante variaciones de luz sobre la glándula pineal y el hipotálamo, ambas glándulas secretan y sintetizan hormonas

reproductivas, como la hormona liberadora de gonadotropina (GHn), el estradiol, la progesterona y la testosterona, las cuales regulan el desarrollo gonadal en los peces (Frantzen *et al.*, 2004).

Un fotoperiodo progresivamente cambiante es claramente la señal natural para el momento de la reproducción, la cantidad de luz recibida por día y noche (horas luz días y oscuridad), es lo más importante. Esta opinión es apoyada por la evidencia de Henderson (1963) trabajando con la trucha de arroyo y, más recientemente por Bromage (1992) que informa que a lo largo del tiempo de desove puede ser modificado los ciclos de luz. Por lo tanto, parecen necesarios estos ciclos de luz constantes para el crecimiento inicial del ovocito y la frecuencia de desove en la trucha arcoíris.

2.11.1 Factores intrínsecos

Son aquellos que describen a la ova a partir de sus atributos dimensionales o morfométricos (Lahnsteiner *et al.*, 2008). Los más analizados son aquellas características en relación a la talla (en diámetro y pesos, con derivadas como volumen y densidad), a aspectos relacionados con la morfología de la ova y a la homogeneidad de la puesta, entre otros.

La talla óptima de la ova desde un aspecto biológico, sería aquella con la que se maximiza la sobrevivencia de la progenie y que, además, tiende a ser un determinante del tamaño posterior de la larva; en términos adaptativos hay un compromiso fisiológico, e inverso, entre el número (fecundidad) y el diámetro de las ovas; relacionado con las características mismas de los reproductores (Duarte y Alcaraz, 1989). Una posible causa en la disminución en la talla de ovas en términos productivos, referido a la viabilidad y sobrevivencia (%), se puede caracterizar por condiciones de manejos deficientes (Campbell *et al.*, 1994).

Existe una relación positiva en varias especies de salmónidos entre la talla de la hembra y el tamaño del huevo, que puede alterar en relación a factores bióticos y

abióticos (Kristjansson y Vollestad, 1996). También, en relación al desarrollo gonadal existe una baja maduración de los reproductores que puede afectar en la calidad de la ova (Schreck *et al.*, 2001).

Uno de los mayores problemas que se presentan en la fase de incubación de ovas en *O. mykiss* es el ataque producido por hongos oportunistas (*Saprolegnia* sp.). Este es el patógeno más frecuente en atacar las ovas de salmónidos, presentes en el agua, los cuales causan pérdidas que oscilan entre 20 y 100% (Roberts, 2001).

En ovas de *O. mykiss*, la saprolegniasis se manifiesta mediante la formación de un revestimiento de hifas que se ubican sobre las ovas muertas, trasladándose rápidamente a las ovas sanas más cercanas (Torres *et al.*, 2011).

2.11.2 Factores asociados al manejo

Fertilización: La tasa de fertilización es a menudo considerada como una medida de la calidad de las ovas (Bromage *et al.*, 1994). El nivel de fertilización es entonces considerado en la mayoría de las evaluaciones de calidad como uno de los criterios primarios para inferir y extrapolar los posibles resultados después de la fase de incubación. Se refleja que una carencia en la fertilización generalmente en resultados de sobrevivencia en estados siguientes de desarrollo embrionario es deficiente (Springate *et al.*, 1984).

Fecundidad: Es un factor importante del reproductor de una población y también para la sobrevivencia que va desde la incubación hasta la eclosión. Desde esa perspectiva, calcular la escala de la fecundidad (fecundidad relativa: huevos por unidad de masa y fecundidad absoluta: huevos por individuo) en una actividad de desove podría ser considerado un indicador de calidad. La dificultad está en los valores de referencia que operarían como comparativos, por ejemplo, en la retención de las ovas en la cavidad celómica de la hembra, la mayor parte de la fracción de la retención está dada por ovas no ovuladas (Zangh *et al.*, 1990), ya

sean en aspectos genético como de manejo (dietas), esta puede llegar a ser de casi un 15% del volumen medio de las ovas producidas.

2.11.3 Factores asociados a los reproductores

Edad: La biología reproductiva de machos y hembras de trucha arcoíris (*O. mykiss*) difiere en diferentes aspectos, entre ellos la edad de maduración; en los machos ocurre al año, mientras que en las hembras a los dos años (Bastardo, 2004).

La trucha arcoíris alcanza la madurez sexual o gonadal entre dos y tres años de edad y presenta un ciclo reproductor anual muy definido con una fase de reposo sexual, una fase de crecimiento importante de las gónadas correspondiente a la espermatogénesis en el macho y la vitelogénesis en hembra, y finalmente la maduración y liberación de los gametos (Barnabe *et al.*, 1991).

La diferencia del grado de madurez sexual en la época de reproducción se reconoce fácilmente; la hembra presenta el vientre abultado y el poro genital redondeado rojizo, y ambas mandíbulas son iguales; mientras que en los machos el poro genital es pequeño, alargado, pálido y, la mandíbula inferior es prolongado (proxmatismo mandibular) además, en esta época los colores del macho son muy acentuadas al igual que la banda lateral (Huet, 1998).

Las hembras de 3 a 4 años de edad pueden desovar una media de 1.500 a 2.000 ovas por kilo, puede llegar hasta 2.700 ovas por kilo y el diámetro de los ovocitos pueden ser de 3,5 a 5 mm, siendo esta en función al tamaño de la hembra y no de su edad (Huet, 1998) y mejor líquido seminal se consigue en machos de 2 a 4 años de edad.

III. Metodología

3.1 Objetivo específico 1

3.1.1 *Caracterizar la sobrevivencia embrionaria en ovas de Trucha Arcoíris (Oncorhynchus mykiss) del Centro de Cultivo de la empresa Salmones Caleta Bay, S.A. Puerto Montt.*

El centro de cultivo Culilí facilitó una base de datos de los desoves de hembras de truchas de primer, segundo y tercer año de madurez. Ello constituye un total de 13 grupos de truchas arcoíris (*O. mykiss*) durante el periodo 2014 a 2016.

La base de datos fue filtrada, seleccionando los datos para variables que se encontraban completas para la series de tiempo. Las variables disponibles al momento del desove fueron: pesos (kg) de hembras reproductoras maduras de (*O. mykiss*), pesos (g) de ovas, porcentaje de madurez (%), número de ovas (ovas/kg) por hembras, fecundidad relativa, estado de gonadal (IGS) y temperatura (°C) del agua en sala de incubación, comprendido entre los meses de desoves de 2014 a 2016.

Dichos datos tomados se ajustaron con base en el seguimiento individual de los desoves obtenidos, comprendiendo desde el momento de la fertilización hasta el proceso del desarrollo de la ova verde (sin embrión visible) registrando siete indicadores:

Pesos (kg/hembra): las hembras maduras fueron extraídas de los estanques seleccionados para los desoves, anestesiadas para luego ser pesadas y desovadas. Todos los pesos en kg fueron registrados en las planillas de datos disponibles por el centro de cultivo.

Pesos (g/ovas): posteriormente las hembras desovadas fueron trasladadas a estanques de aclimatación, luego las ovas fueron portadas y recibidas en recipientes plásticos (aproximación de 1 g) previamente pesados; la diferencia entre el peso del recipiente (sin ova) y del recipiente (con ovas) representó el valor que corresponde al peso de las ovas obtenidos.

Porcentaje de madurez (%): se refiere al número de hembras desovadas/sumatoria total de hembras desovadas*100.

N° de ovas (kg/hembra): se calculó mediante la relación de peso de una ova/pesos de ovas*FC, equivalente a 0,92.

Fecundidad relativa: se calculó mediante el número de ovas de cada hembra a través del método gravimétrico, en términos relativos, es decir, (N° ovas/unidad de biomasa (kg)), para el efecto se utilizó la relación:

$$\text{Fecundidad Relativa} = (\text{N}^\circ \text{ ovas} * 1000) / \text{Pesos de hembra (kg)}$$

Índice Gonadosomático (IGS): dicho índice se realizó para comparar el grado de madurez de las hembras reproductoras en los diferentes muestreos realizados en los estanques de hembras maduras muertas por grupos. Se calculó para hembras maduras, según la siguiente fórmula (Zanuy y Carrillo, 1973):

$$\text{IGS: } \text{Peso gónada (gr)} / \text{Peso total pez (gr)} * 100$$

Temperatura (°C) del agua en sala de incubación: finalmente las ovas fertilizadas fueron lavadas para extraer las impurezas (sangre y cascaras de ovas anteriores), luego transportadas mediante baldes plásticos, cada una registrada y dirigida a la sala de incubación donde se ingresa flujo de agua constante (flujo abierto) y diariamente se monitorea las temperaturas (°C) anotándola en planillas de datos entregados por el centro de cultivo.

Para la fertilización se disponía de datos de pesos (kg) de hembras reproductoras, al momento del desove. Luego, en la fertilización se obtuvo datos de pesos de ovas (g) y número de ovas (ovas/kg) por cada hembra desovada. Como las ovas fertilizadas son trasladadas a la sala de incubación, en esta etapa se registró diariamente la temperatura (°C) del agua de dicha sala, variable considerada para el análisis.

Para cumplir con el objetivo se realizó una recolección de la información de los datos, entregado por la base de dato del Centro de Cultivo Salmones Caleta Bay, S.A. Puerto Montt donde se procedió a realizar una descripción general de estadísticos descriptivos de los datos correspondiente a las variables: Sobrevivencia (%), Pesos (kg), N° ovas totales (ovas/kg) por hembras, Temperaturas prom. (°C) del agua en sala de incubación y Madurez (%). En ello, se estimaron parámetros de centralización de media, así como sus parámetros de desviación típica y error típico.

Se realizaron en primer lugar un análisis de normalidad para las variables de sobrevivencia (%), pesos (kg), N° de ovas totales (ovas/kg) de hembras (*O. mykiss*), temperaturas prom. (°C) del agua en sala de incubación y madurez (%).

Para dichas variables se realizó una exploración de los datos, al mismo tiempo se codificó donde se separó los factores transformado ($w^4(kg)$ y $\ln Temp$) y factores no transformados (N° ovas (ovas/kg) y madurez (%)), donde las variables se analizó por rangos, es decir, se dividió en 3 rangos (R1, R2 y R3) que van ordenados en forma de: menor, intermedio y mayor por cada una de ellas para los análisis estadísticos a analizar.

Posteriormente, se graficó histogramas en grupos de hembras desovadas por cada años (2014-2016) en relación a promedios en sobrevivencia (%), pesos (kg), N° ovas totales (ovas/kg) por hembras, temperatura (°C) del agua en sala de incubación y madurez (%), para determinar si existen diferencias entre grupos de hembras desovadas por años.

Luego, se utilizó Test estadístico ANOVA de un factor para comparar varios grupos en una variable cuantitativa y evaluar si las medias calculadas en grupos son iguales o difieren.

Posteriormente, se utilizó el Análisis de Varianza ANOVA Factorial Univariante por grupos de hembras desovadas, el cual consiste en generar un análisis de varianza de más de un factor para la variable dependiente (sobrevivencia (%)) y factores $w^4(kg)$, N° ovas (ovas/kg), $\ln Temp$ y madurez (%) por grupos de hembras (*O. mykiss*).

Dichos factores están compuesto por grupos de hembras de los años 2014, 2015 y 2016. Finalmente, se realizó un gráfico de distribución de sobrevivencia (%) según temperatura prom. (°C) en sala de incubación entre los años 2014 a 2016, para observar en que año tiene la mayor sobrevivencia (%) en ovas de (*O. mykiss*).

i) Normalidad de Sobrevivencia (%), Pesos (kg), N° ovas (ovas/kg), Temperaturas prom. (°C) del agua en sala de incubación y Madurez (%) por grupos de hembras de (*O. mykiss*).

Para verificar los supuestos de normalidad de los datos, se utilizó el Test de Kolmogorov – Smirnov.

En dicho análisis se contrastaron las siguientes hipótesis nulas: Para las variables de sobrevivencia (%), pesos (kg), N° de ovas (ovas/kg), temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación y madurez (%) de hembras de (*O. mykiss*).

H₀: La distribución de sobrevivencia (%) de (*O. mykiss*) son normales

H₁: La distribución de sobrevivencia (%) de (*O. mykiss*) no son normales

H₀: La distribución de pesos (kg) de (*O. mykiss*) son normales

H₁: La distribución de pesos (kg) de (*O. mykiss*) no son normales

H₀: La distribución de N° ovas (ovas/kg) de hembras de (*O. mykiss*) son normales

H₁: La distribución de N° ovas (ovas/kg) de hembras de (*O. mykiss*) no son normales

H₀: La distribución de temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación son normales

H₁: La distribución de temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación no son normales

H₀: La distribución de madurez (%) de hembras desovadas son normales

H₁: La distribución de madurez (%) de hembras desovadas no son normales

Para los valores con un nivel crítico $p < 0,05$, se rechazó la hipótesis de normalidad que las variables no presentan normalidad.

Aquellas variables que no cumplieron con la hipótesis de normalidad fueron transformadas según:

a) Pesos (kg) por hembras $\rightarrow w^4(kg)$

b) Temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación $\rightarrow \ln Temp$

ii) **Análisis de Varianza Factorial (Univariante)**

Es importante dejar establecido que los datos utilizados fueron grupos de hembras desovadas desde los años 2014 hasta el 2016, donde se realizó la clasificación de 3 rangos para cada factor, estas son: menor, intermedio y mayor para cada variable, realizadas de manera independiente presentadas en las Tablas 1, 2, 3 y 4. Una vez que se ha realizado la recopilación y registro de los datos, nos permitió precisar los supuestos de normalidad de varianza de las interacciones de grupos comparados con las diferentes variables.

Para la construcción de los datos se llevó a cabo una codificación de los datos mediante el programa SPSS.

Tabla 1: Datos codificados por grupos para la variable transformada $w^4(kg)$ de hembras de (*O. mykiss*).

Rangos	$w^4(kg)$
R1	< 341,88
R2	341,89 – 7163,91
R3	> 7163,92

Tabla 2: Datos codificados por grupos para la variable N° ovas (ovas/kg) de hembras de (*O. mykiss*).

Rangos	N° ovas por hembras (ovas/kg)
R1	< 1.193
R2	1.194 – 1.447
R3	> 1.448

Tabla 3: Datos codificados por grupos para la variable transformada $\ln Temp$ de hembras de (*O. mykiss*).

Rangos	$\ln Temp$
R1	<1,99
R2	2,0 – 2,26
R3	> 2,27

Tabla 4: Datos codificados por grupos para la variable madurez (%) en hembras desovadas de (*O. mykiss*).

Rangos	Madurez (%) de hembras desovadas
R1	< 5,48
R2	5,49 – 9,21
R3	> 9,22

a. w^4 (kg), N° ovas (ovas/kg) por hembras de (*O. mykiss*) y $\ln Temp$ por grupos.

Se realizó la prueba de Levene, para verificar el supuesto de homogeneidad de varianza de los grupos comparados ($w^4(kg)$, N° ovas (ovas/kg) de (*O. mykiss*) y $\ln Temp$) en donde se contrastaron las siguientes hipótesis nulas:

H_0 : Los $w^4(kg)$, N° ovas (ovas/kg) y $\ln Temp$ por grupos de (*O. mykiss*) son normales

H_1 : Los $w^4(kg)$, N° ovas (ovas/kg) y $\ln Temp$ por grupos de (*O. mykiss*) no son normales

Para la prueba de Levene si $p < 0,05$, se rechazó la hipótesis de homogeneidad que las varianzas no son homogéneas.

3.2 Objetivo específico 2

3.2.1 Evaluar la relación entre la sobrevivencia embrionaria de ovas y los factores biológicos y ambientales registrados por la empresa

Para el siguiente objetivo se realizó un análisis univariado (Correlación de Pearson) donde se determinó si existía relación asociada a los factores biológicos y ambientales sobre la sobrevivencia (%), concentrándonos en cada una de las variables de modo independiente.

Para llevar a cabo la clasificación y análisis, primero se comprobó gráficamente si existía agrupación entre las variables en promedios de: pesos (kg) por hembras, temperatura (°C) del agua en sala de incubación, N° ova (ovas/kg) por hembras y madurez (%) en relación a la sobrevivencia (%) para comprobar la existencia de relación lineal entre las distintas variables para los años de desoves 2014, 2015 y 2016.

Posteriormente, se evaluó el coeficiente de correlación lineal de Pearson, para determinar si existía relación lineal entre cuatro variables: pesos (kg), N° de ovas (ovas/kg) por hembras, temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación y madurez (%).

Para la prueba de hipótesis se utilizó la correlación de Pearson, que mide la fuerza y sentido de relación entre dos variables medidas en al menos escala de intervalo, además si esta es significativa ($p \neq 0$) (González, 2009).

H_0 : El coeficiente de correlación obtenido procede de una población cuya correlación es cero, no hay correlación.

H_1 : El coeficiente de correlación obtenido procede de una población cuya correlación es distinto de cero, sí hay correlación.

Se comprobó la correlación entre las variables mencionadas anteriormente, se evaluó mediante la significancia de la correlación de Pearson, si $p > 0,05$, se acepta la H_0 , por lo que efectivamente, en la población la correlación es cero, y no existe asociación lineal.

Si $p < 0,05$, se rechaza la H_0 , por lo tanto, en la población la correlación es distinta de cero, y si existe asociación lineal.

3.3 Objetivo específico 3

3.3.1 Estimar un modelo predictivo de sobrevivencia embrionaria de ovas para proponer condiciones biológicas y ambientales que favorezcan la sobrevivencia.

Se estimó un modelo predictivo de sobrevivencia (%) de truchas arcoíris (*O. mykiss*), en fase de incubación considerando variables ambientales y biológicas.

Para el modelamiento de la sobrevivencia (%) de (*O. mykiss*), se necesitó contar con condiciones específicas, se estimó las variables transformada en promedios de los $w^4(kg)$ de las poblaciones de (*O. mykiss*) en un periodo de cultivo, $\ln Temp$ que está bajo condiciones óptimas, N° total de ovas (ovas/kg) y madurez (%) por hembras, de manera que las variables mencionadas anteriormente favorezcan a la sobrevivencia (%).

La sobrevivencia (%) fue considerada como variable dependiente y los factores $w^4(kg)$, $\ln Temp$, N° total de ovas (ovas/kg) y madurez (%) por hembras en promedios como independientes, que explicarían condiciones biológicas y ambientales para identificar cuáles son los principales factores que están influyendo en la sobrevivencia (%) embrionaria de ovas de (*O. mykiss*) como independientes.

Para el desarrollo de este objetivo, se seleccionó el modelo de regresión lineal múltiple que se describe a continuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 + \beta_3 * X_3 + \beta_4 * X_4 + \varepsilon$$

Donde:

Y = Supervivencia embrionaria (%) en ovas de (*O. mykiss*)

$\beta_{0,1,2,3,4}$ = Constante

X_1 = $w^4(kg)$ por hembras de (*O. mykiss*)

X_2 = $\ln Temp$ por hembras de (*O. mykiss*)

X_3 = N° total de ovas (ovas/kg) por hembras de (*O. mykiss*)

X_4 = Madurez (%) por hembras de (*O. mykiss*)

ε = Residuos

Donde la variable dependiente (Y) se define como una combinación lineal de un conjunto de K variables independientes (X_K), donde va acompañada de un coeficiente (B_K) que indica la importancia relativa de cada variable de la ecuación.

Además, incluye una constante (β_0) y un componente de residuos ε que son las variables independientes que no son capaces de explicar dicho modelo (Palomo, 2011).

Para esta relación a estimar, se utilizaron promedios en la variable dependiente para el porcentaje de supervivencia (%), variables transformadas independientes ($w^4(kg)$ y $\ln temp$) y variables no transformadas independientes (N° total de ovas (ovas/kg) y madurez (%) por hembras de (*O. mykiss*)).

Se determinó la selección de variables para el modelo lineal de regresión múltiple, la cual se basó en la bondad de ajuste que poseen la totalidad de las variables independientes (causas) sobre la variable dependiente (resultado). Posteriormente, se determinó análisis estadístico F, para concluir si el modelo de

regresión es significativo o cuales son las que contribuyen y cuáles no (Cárdenas, 2014).

Finalmente, se realizó un gráfico de 3D por grupos de hembras desovadas para las variables sobrevivencia (%), NOV y $w^4(kg)$, debido a que este tipo de gráfico puede utilizarse para explorar la relación potencial entre tres variables, el cual nos permitirá establecer rangos mínimos y máximo que favorezcan la sobrevivencia embrionaria (%) en ovas de (*O. mykiss*). Una vez obtenido estos rangos para dichas variables, se llevó a cabo escenarios evaluados para los años de desoves (2014, 2015 y 2016) y así experimentar los posibles comportamientos del sistema, que puedan ser de ayuda para tomar la mejor decisión para la sobrevivencia embrionaria (%) en ovas de (*O. mykiss*) (ver Anexos 15,16 y 17).

IV. Resultados

4.1 Sobrevivencia embrionaria observada de Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) del Centro de Cultivo de la empresa Salmones Caleta Bay, S.A. Puerto Montt.

Tabla 5: Estadísticos descriptivos de la sobrevivencia embrionaria (%), pesos (kg), N° de ovas totales, temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación y madurez (%) por grupos de hembras entre los años 2014-2016

Variab les	N	Media	Desviación típica	Error típico
Sobrevivencia (%)	39	60,37	18,54	2,97
Pesos (kg)	39	7,01	2,24	0,36
N° ovas totales (ovas/kg)	39	1333,95	230,81	36,96
Temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación	39	8,50	1,46	0,23
Madurez (%)	39	7,69	3,78	0,60

La Tabla 5, muestra que la sobrevivencia embrionaria (%) en promedios en los subgrupos de ovas fue de 60,37 % y la desviación típica promedio fue de 18,54. Para los pesos promedios (kg) en los subgrupos de hembras es de 7,01 kg y la desviación típica promedio fue de 2,24. El número de ovas (ovas/kg) en los subgrupos de hembras fue de 1333,95. Posteriormente la temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación en los subgrupos de hembras fue de 8,50 y finalmente el porcentaje de madurez (%) fue de 7,69.

Para las variables por grupos de pesos (kg) y temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación (ver Anexo 10 y 11), se observó que la distribuciones no son normales.

Se realizó gráficos de normalidad transformando las variables mencionadas anteriormente, descrito a continuación.

- a. $w^4(kg)$
- b. $Ln temp$

Los resultados de igualdad de varianza para sobrevivencia (%), N° de ovas (ovas/kg), madurez (%) y variables transformadas anteriormente se observó en los Test estadísticos que la distribución eran normales ($p > 0,05$) descrito en los Anexos 5, 6, 7, 8 y 9 respectivamente.

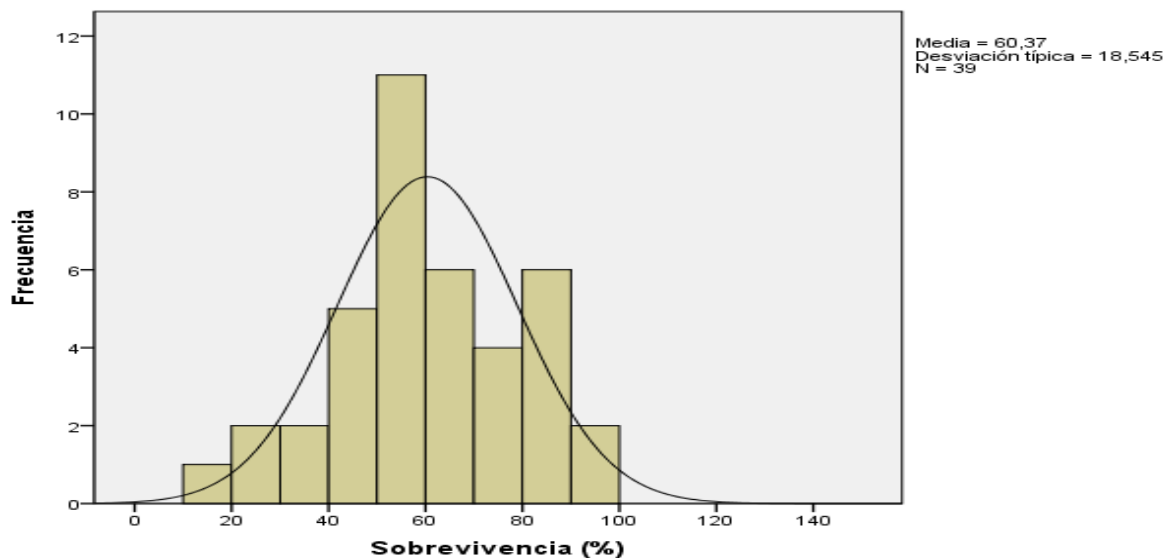


Figura 4: Distribución normal para la variable sobrevivencia (%) de (*O. mykiss*).

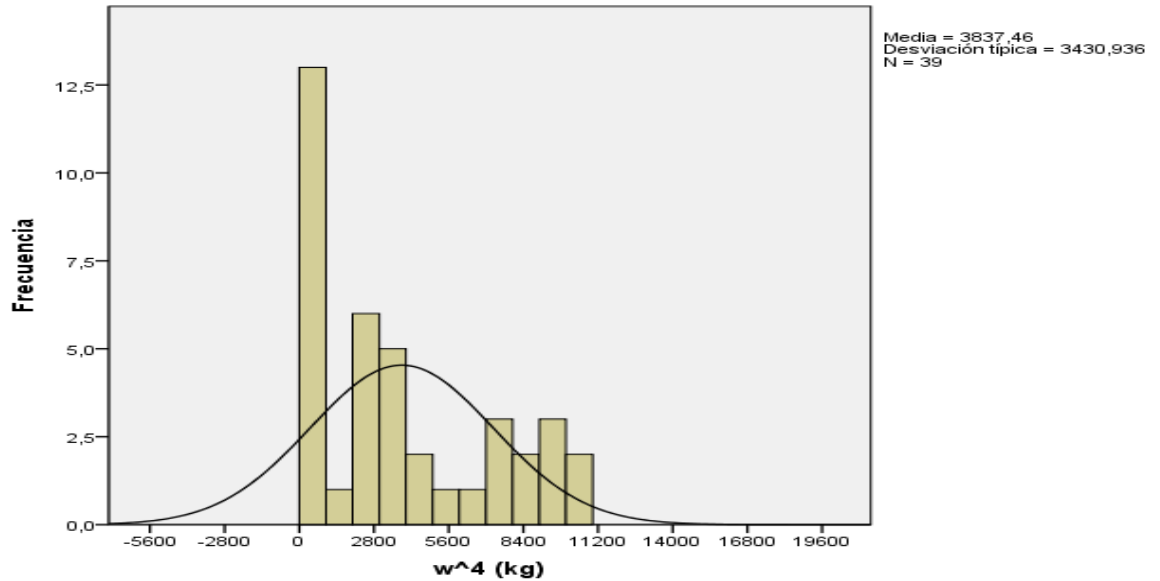


Figura 5: Distribución normal para la variable ($w^4(kg)$) de hembras de (*O. mykiss*).

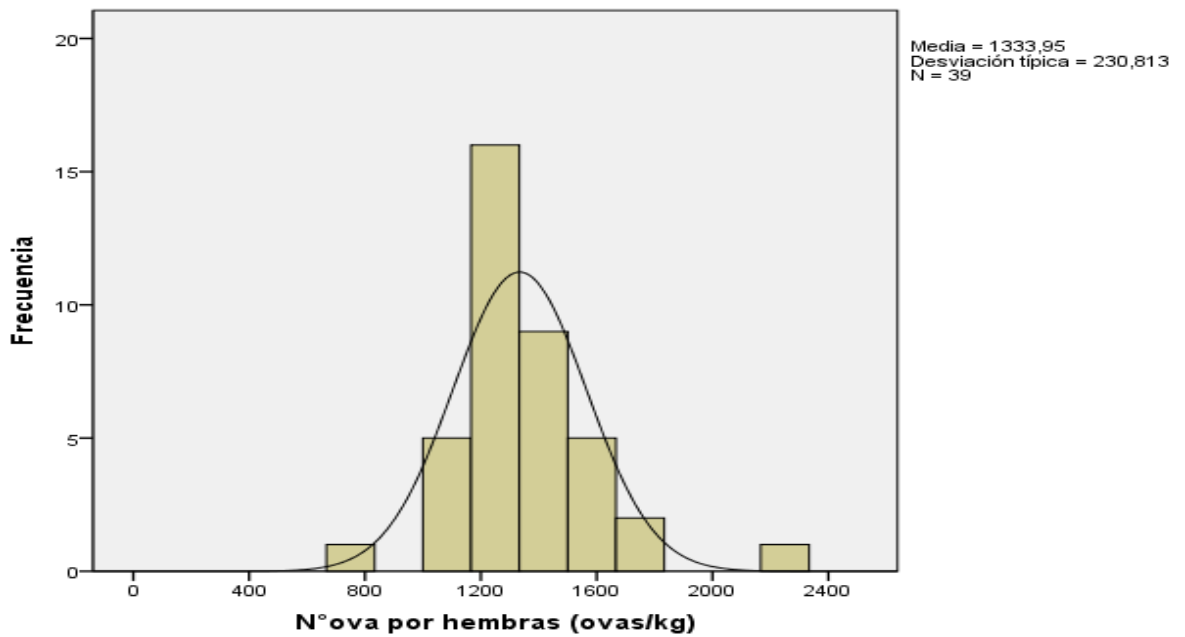


Figura 6: Distribución normal para la variable N° ovas (ovas/kg) de hembras de (*O. mykiss*).

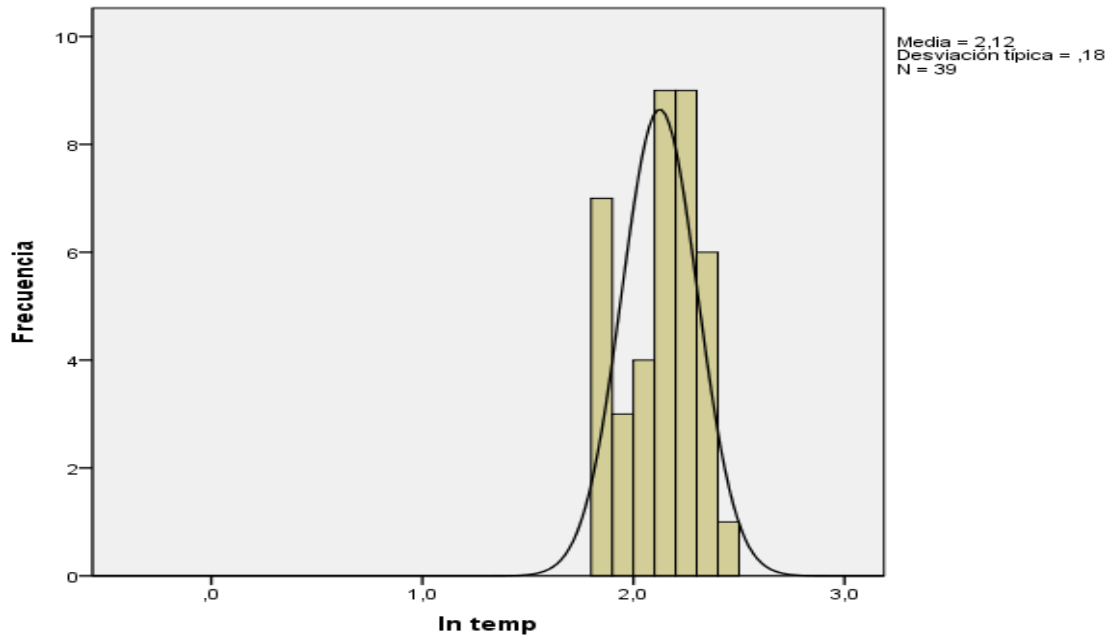


Figura 7: Distribución normal para la variable (*Ln temp* de (*O. mykiss*)).

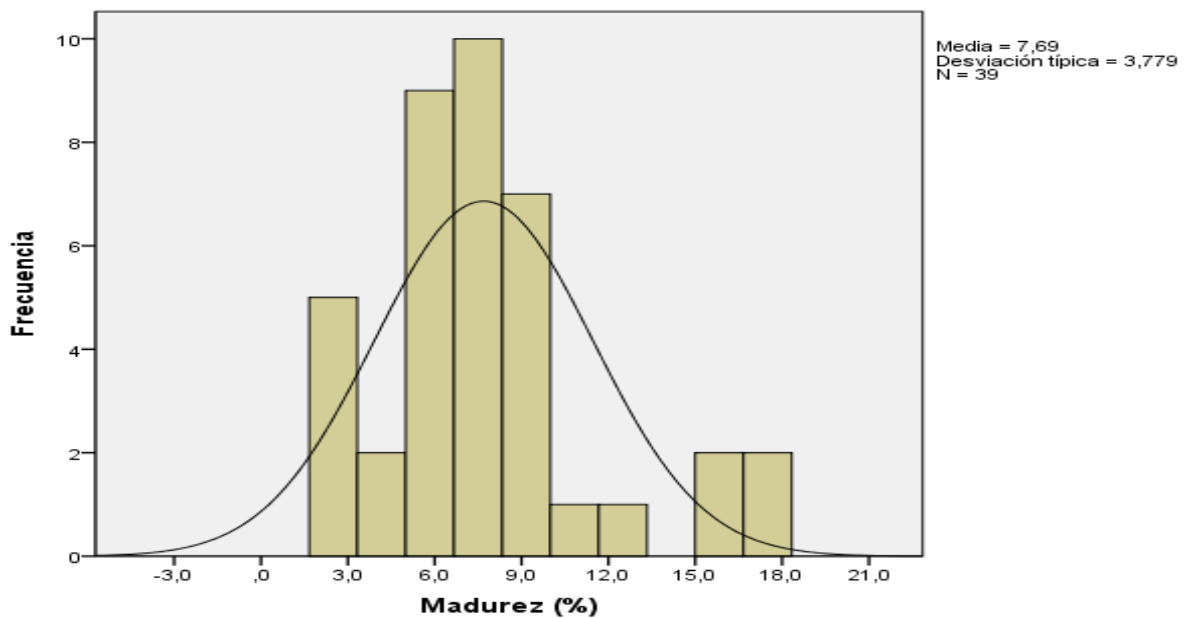


Figura 8: Distribución normal para la variable madurez (%) de hembras de (*O. mykiss*).

4.1.1 Porcentaje de Supervivencia en grupos de hembras desovadas por años

En la Figura 9 se observa el porcentaje de supervivencia (%) por grupos de hembras desovadas por años, en el cual G1 a G13 son grupos de hembras desovadas por cada año.

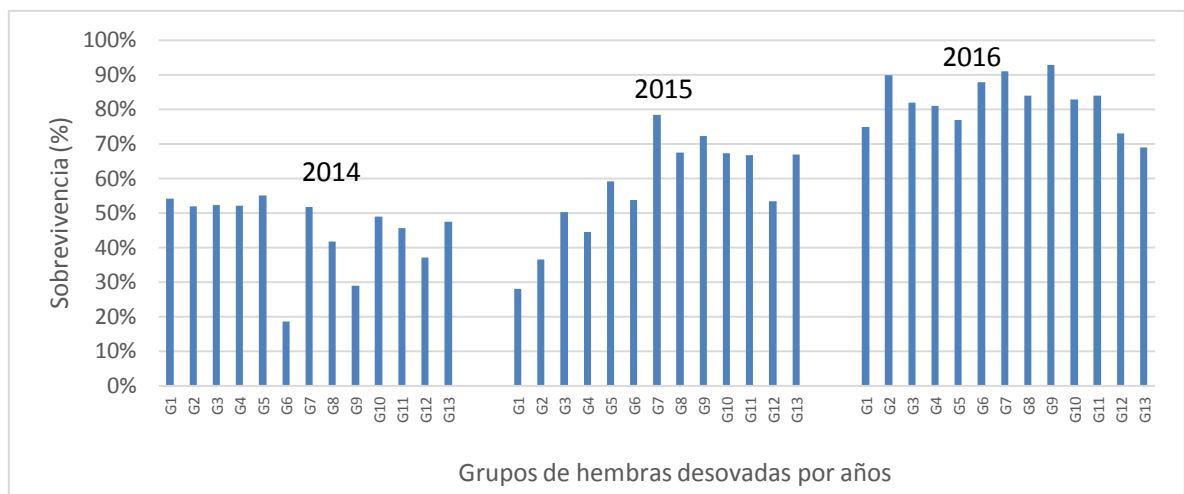


Figura 9: Supervivencia (%) en relación a los grupos de hembras desovadas por años. Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Pesos (kg) en grupos de hembras desovadas por años

En la Figura 10, se observa el comportamiento de la variable pesos (kg) por cada grupo de hembras a través de los años de desoves, presentan diferencias en las gráficas, en el cual incrementa a medida que transcurre el tiempo a partir de hembras de primer año hasta la de tercer año de madurez.

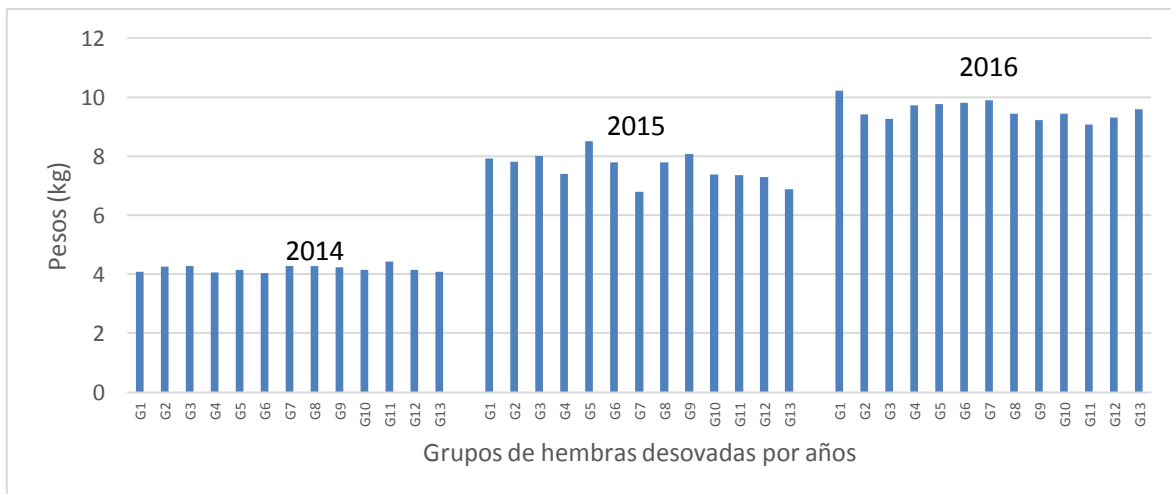


Figura 10: Pesos (kg) en relación a los grupos de hembras desovadas por años.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 N° Ovas (ovas/kg) totales en grupos de hembras desovadas por años

En la Figura 11, se observa la variable N° ovas totales (ovas/kg) por cada grupo de hembras desovadas, la que presentó aumento, en los grupos de hembras 2014, seguido de una disminución en los grupos de hembras 2015 y aumento en grupos de hembras 2016.

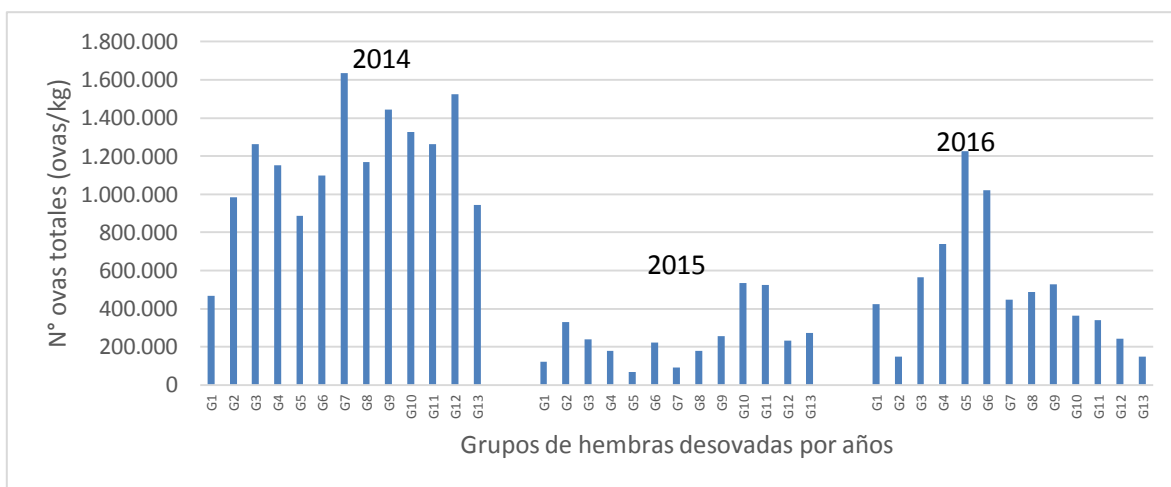


Figura 11: N° Ovas (ovas/kg) totales en relación a los grupos de hembras desovadas por años. Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 Temperatura (°C) del agua en sala de incubación en grupos de hembras desovadas por años

En la Figura 12, se observa la Temperatura (°C) del agua en sala de incubación por cada grupo de hembras desovadas, la que presentó un aumento, en los grupos de hembras 2015, seguido de una disminución en los grupos de hembras 2014 y aumento moderado en grupos de hembras 2016.

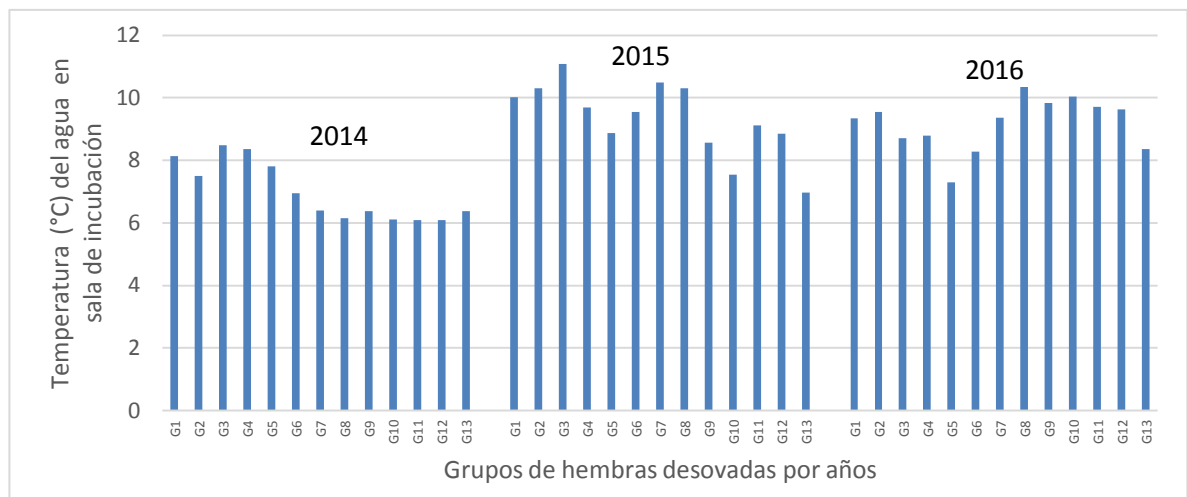


Figura 12: Temperatura (°C) en sala de incubación en relación a los grupos de hembras desovadas por años. Fuente: Elaboración propia.

4.1.5 Madurez (%) en grupos de hembras desovadas por años

En la Figura 13, se observa la madurez (%) por cada grupo de hembras desovadas, la que presentó un aumento ordenado, en los grupos de hembras 2014, seguido de un aumento para los grupos 10 y 11 de hembras 2015 y una disminución considerable para grupos 10 a 13 de hembras 2016.

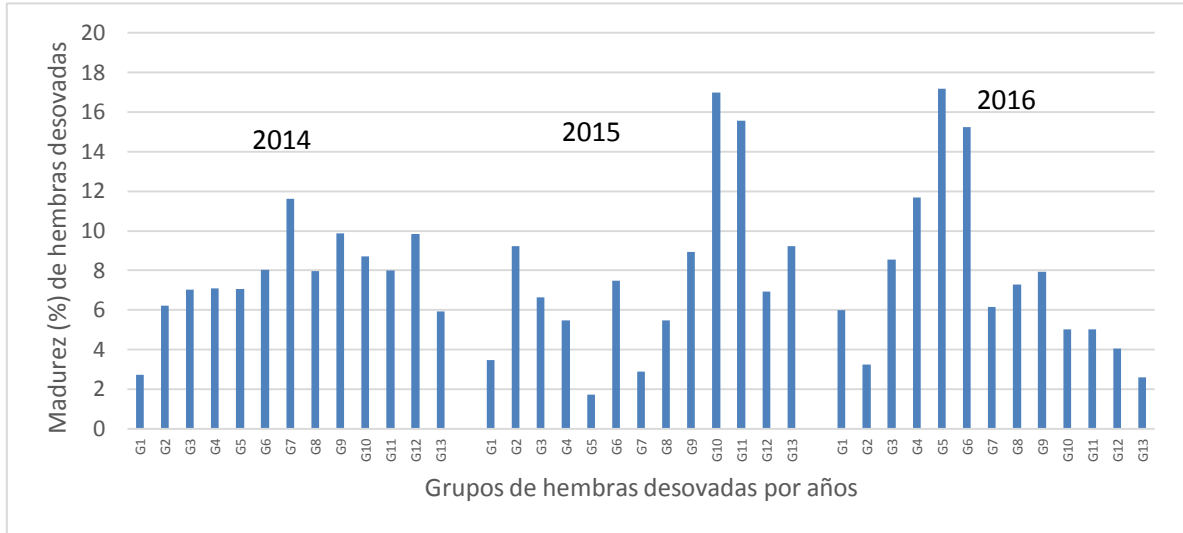


Figura 13: Madurez (%) en relación a los grupos de hembras desovadas por años.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.6 Supervivencia

Por cada año analizado (2014 a 2016) y grupos de hembras (13 grupos por cada año) la supervivencia (%) entre grupos de hembras analizados no es significativamente distinta ($p > 0,05$; ver Tabla 6).

Tabla 6: ANOVA de un factor, para las variables dependientes sobrevivencia (%), $w^4(kg)$, N° ovas (ovas/kg) y $Ln temp$ por hembras (*O. mykiss*) por grupos de hembras.

Variables	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Sobrevivencia (%)	1758,25	12	146,52	0,34	0,974
$w^4(kg)$	44039320,32	12	3744943,36	0,242	0,993
N° ovas (ovas/kg) por hembras)	660289,98	12	55024,16	1,05	0,438
$Ln temp$	0,20	12	0,17	0,43	0,937
Madurez (%)	118,30	12	9,86	0,60	0,819

La sobrevivencia (%), $w^4(kg)$, N° de ovas (ovas/kg), $Ln temp$ y madurez (%) entre hembras por grupos analizados no fue significativamente distinta ($p > 0,05$; ver Tabla 6).

a) ANOVA factorial para la sobrevivencia (%) entre los factores $w^4(kg)$, $Ln temp$ y N° ovas totales (ovas/kg) por grupos de hembras.

En la Tabla 7 presenta un resumen del análisis de varianza los resultados del análisis de varianza para la variable dependiente, sobrevivencia (%). A través de ella se observa para el factor N° ovas totales (ovas/kg) y factores transformados $w^4(kg)$ y $Ln temp$, no presentan diferencias significativas por grupos de hembras desovadas ($p > 0,05$). Los resultados de contraste de igualdad de varianza se encuentran en los Anexo 1, 2, 3 y 4.

Tabla 7: ANOVA Factorial para los efectos $w^4(kg)$, $Ln temp$ y N° de ovas totales (ovas/kg) por grupos de hembras desovadas como factores sobre la sobrevivencia (%) para (*O. mykiss*).

Origen	Suma de cuadrado tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	10008,20	26	384,93	1,51	0,23
$w^4(kg)$	1874,37	2	937,18	3,68	0,06
$Ln temp$	570,27	2	285,13	1,12	0,36
N° ovas totales (ovas/kg)	195,81	2	97,90	0,38	0,69
$w^4(kg) * Ln temp$					
*N° ovas (ovas/kg)	108,63	1	108,63	0,43	0,53
Total	155224,96	39			

De acuerdo a la Tabla 7, las variables mencionadas anteriormente de forma independiente, no son significativamente ($p > 0,05$). En cuanto a las interacciones entre las variables $w^4(kg)$, $Ln temp$ y N° ovas (ovas/kg) no existe diferencias significativa ($p > 0,05$) sobre la sobrevivencia (%) de *O. mykiss*.

Finalmente, se describió las medidas de posición que dividen en 3 partes porcentuales iguales a una distribución ordenada de los datos de temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación y sobrevivencia (%) en ovas de (*O. mykiss*) descrita en los Anexos 12 y 13. En ella se describe las distribuciones de los datos en porcentajes, así podemos realizar los escenarios evaluados para describir la mejor opción en sobrevivencia (%). A continuación se muestra en la Figura 14 el resumen de las temperaturas prom. (°C) del agua en sala de incubación efectuadas en los años 2014, 2015 y 2016.

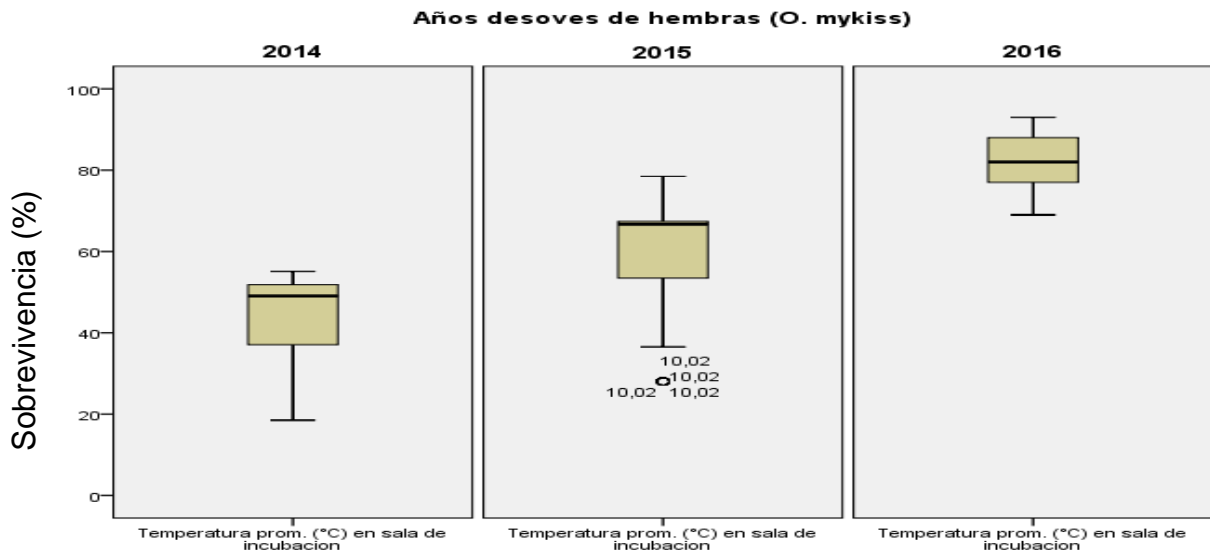


Figura 14: Distribución de sobrevivencia (%) según temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación en ovas de truchas arcoíris (*O. mykiss*) para los años 2014, 2015 y 2016.

En la Figura 14 se observa la comparación de dos categorías de una variable (Sobrevivencia (%)); mostrando la distribución por temperaturas prom. (°C) del agua en sala de incubación para el periodo 2014-2016. Es decir, las distribuciones corresponden a la variable sobrevivencia (%) y cada serie corresponde a una categoría de la variable temperaturas prom. (°C) del agua en sala de incubación. Se puede observar que la dispersión de temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación en el año 2016 fue menor que en otros años (2014-2015). De ahí, que se estima y se concluye que, para esta muestra, la sobrevivencia se ve favorecida con una menor dispersión de la temperatura promedio del agua en la sala de incubación.

4.2 Objetivo específico 2

4.2.1 Evaluar la relación entre la sobrevivencia embrionaria de ovas y los factores biológicos y ambientales registrados por la empresa

Se elaboraron gráficos de dispersión que muestran cuánto afecta una variable sobre la otra, para las variables: pesos (kg) por hembras, temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación, N° ovas totales (ovas/kg) y madurez (%) por hembras, en relación a la sobrevivencia (%). Se realizó por separados los gráficos de dispersión, descrito en las Figuras 15,16, 17 y 18.

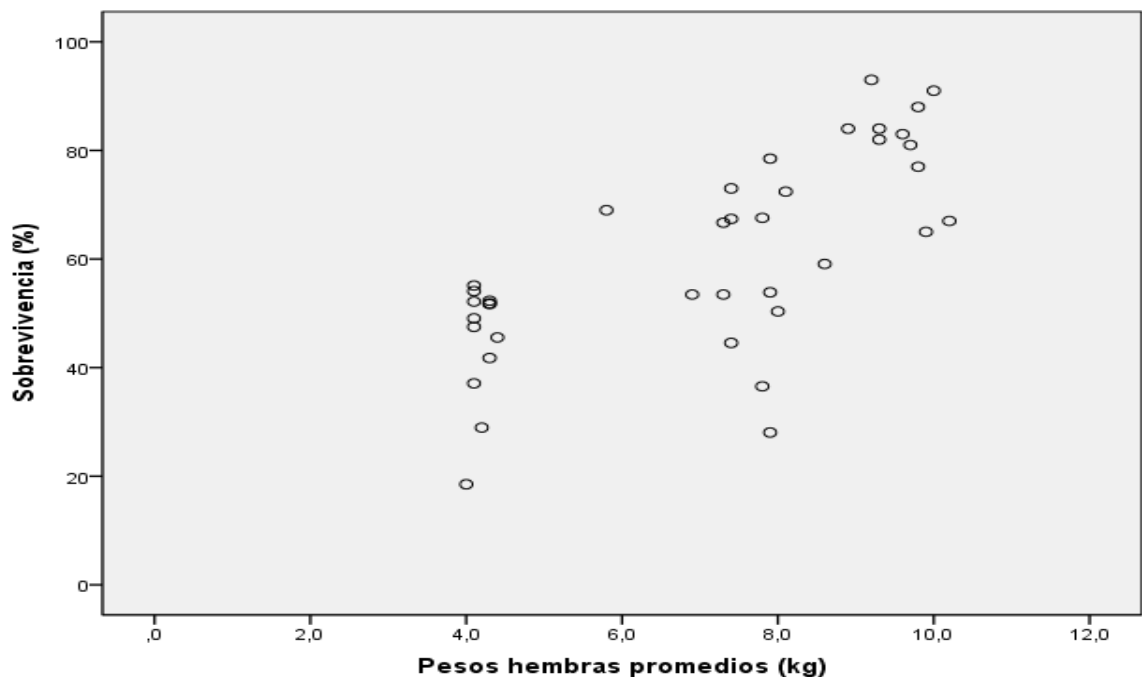


Figura 15: Relación entre la Sobrevivencia (%) y Pesos (kg) por hembras a través de los desoves entre los años 2014, 2015 y 2016.

Para un $n= 39$ la sobrevivencia (%) con respecto a la variable pesos (kg) por hembras (Figura 15) pertenecientes a este estudio muestra, que no existe una correlación a través del coeficiente de Pearson, ($p= 0,000$, ver Tabla 8) como es menor que el nivel de significación ($p=0,05$), se rechazó la H_0 , por lo tanto, la

correlación en la población es distinta de cero, y sí existe asociación lineal entre dichas variables a través de los desoves entre los años 2014, 2015 y 2016.

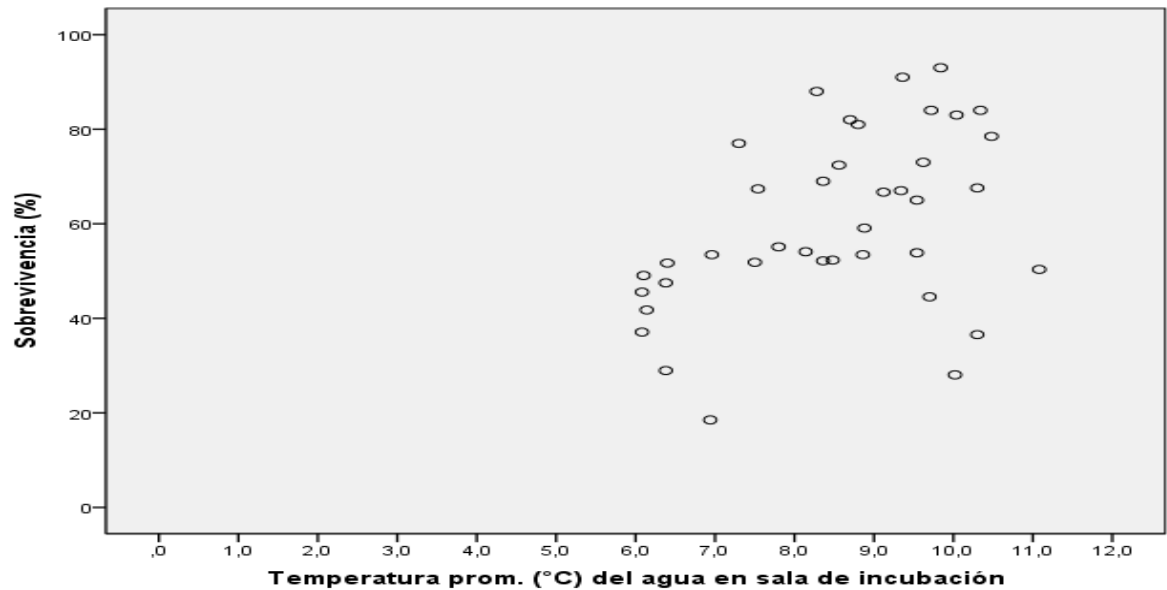


Figura 16: Relación entre la Sobrevivencia (%) y Temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación por hembras a través de los desoves entre los años 2014, 2015 y 2016.

Al analizar la sobrevivencia (%) con respecto a la variable temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación (Figura 16), se observó que no existe una correlación a través del coeficiente de Pearson, ($p= 0,053$, ver Tabla 8) como es mayor que el nivel de significación ($p=0,05$), se aceptó la H_0 , por lo tanto, la correlación en la población es cero, y no existe asociación lineal entre dichas variables a través de los desoves entre los años 2014, 2015 y 2016.

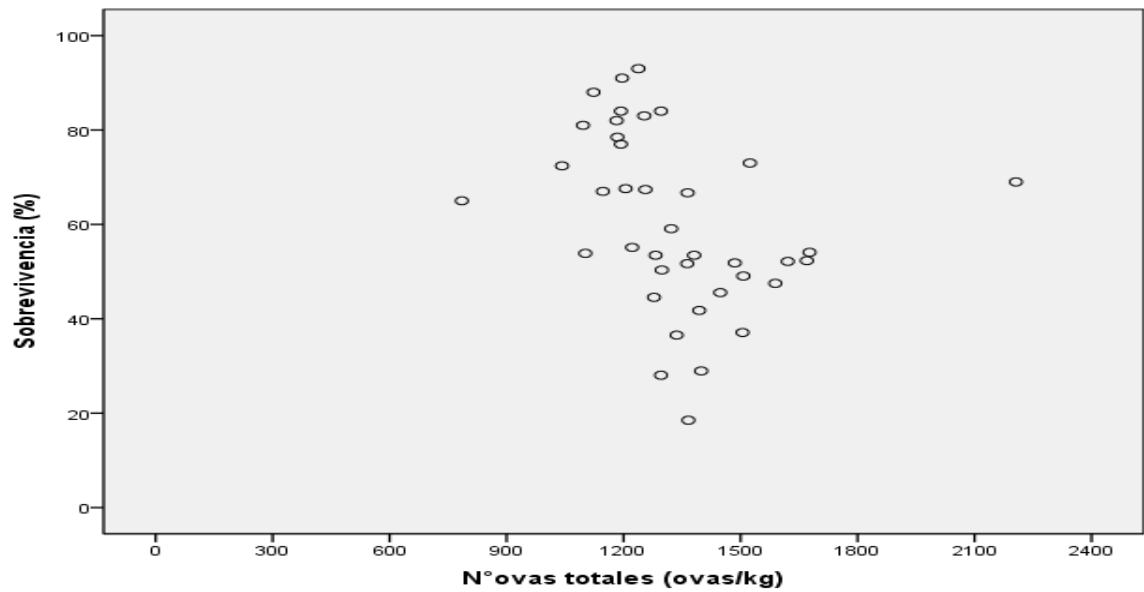


Figura 17: Relación entre la Sobrevivencia (%) y N° de ovas totales (ovas/kg) por hembras a través de los desoves entre los años 2014, 2015 y 2016.

Al observar la sobrevivencia (%) con respecto al N° de ovas totales (ovas/kg) por hembras (Figura 17) muestra, que existe una correlación a través del coeficiente de Pearson, ($p= 0,581$, ver Tabla 8) como es mayor que el nivel de significación ($p=0,05$), se aceptó la H_0 , por lo tanto, la correlación en la población es cero, y no existe asociación lineal entre dichas variables a través de los desoves entre los años 2014, 2015 y 2016.

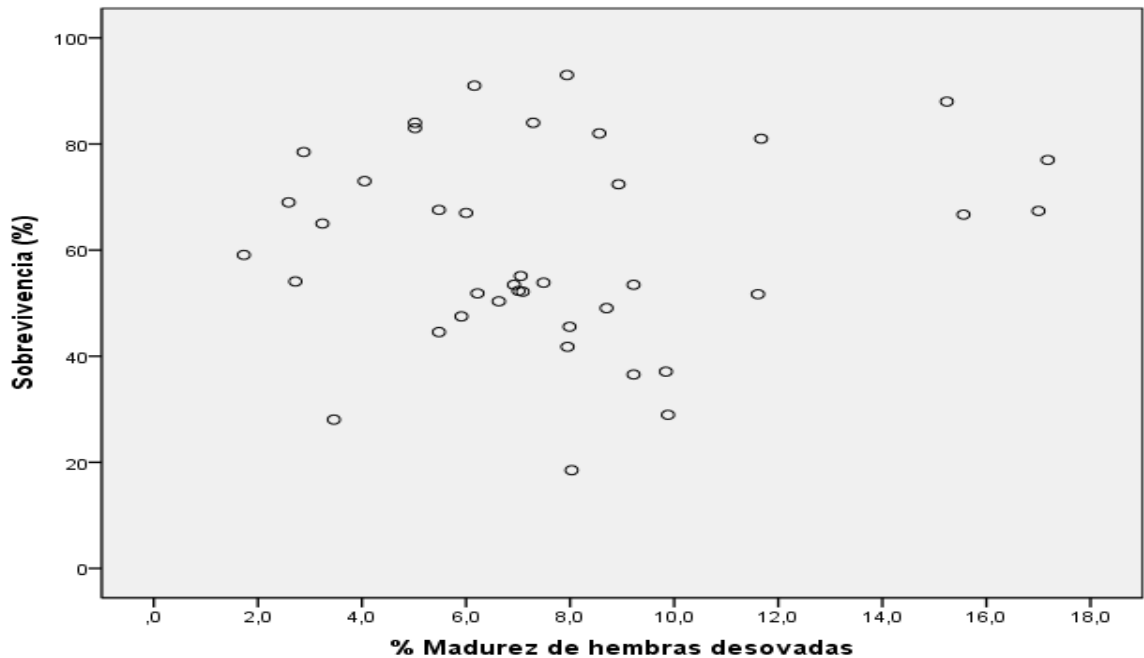


Figura 18: Relación entre la Sobrevivencia (%) y Madurez (%) de hembras desovadas a través de los desoves entre los años 2014, 2015 y 2016.

Al notar la sobrevivencia (%) con respecto a la variable madurez (%) por hembras (Figura 18) se observó, que existe una correlación a través del coeficiente de Pearson, ($p= 0,005$, ver Tabla 8) como es menor que el nivel de significación ($p=0,05$), se rechazó la H_0 , por lo tanto, la correlación en la población es distinta a cero, y si existe asociación lineal entre dichas variables a través de los desoves entre los años 2014, 2015 y 2016.

Posteriormente se realizó Análisis Univariado entre los factores biológicos y ambientales sobre la sobrevivencia (%), presentada por pares de variables; el coeficiente de Pearson y el nivel de significancia obtenido, además el número de casos equivalente a $n=39$.

Observando lo gráficos mencionado anteriormente para tener una perspectiva de una relación más acotada entre la variable dependiente (sobrevivencia (%)) e independientes (pesos (kg), temperatura prom. ($^{\circ}\text{C}$) del agua en sala de

incubación, N° de ovas totales (ovas/kg) y madurez (%) por hembras, se ocupó los datos codificados de las Tablas 1, 2, 3 y 4.

Luego, se realizó gráficos por separados para las variables $w^4(kg)$, $Ln temp$, N° de ovas totales (ovas/kg) y madurez (%) por grupos de hembras, descrito en las Figuras 19, 20, 21 y 22 el cual mostró cómo afecta una variable de otra.

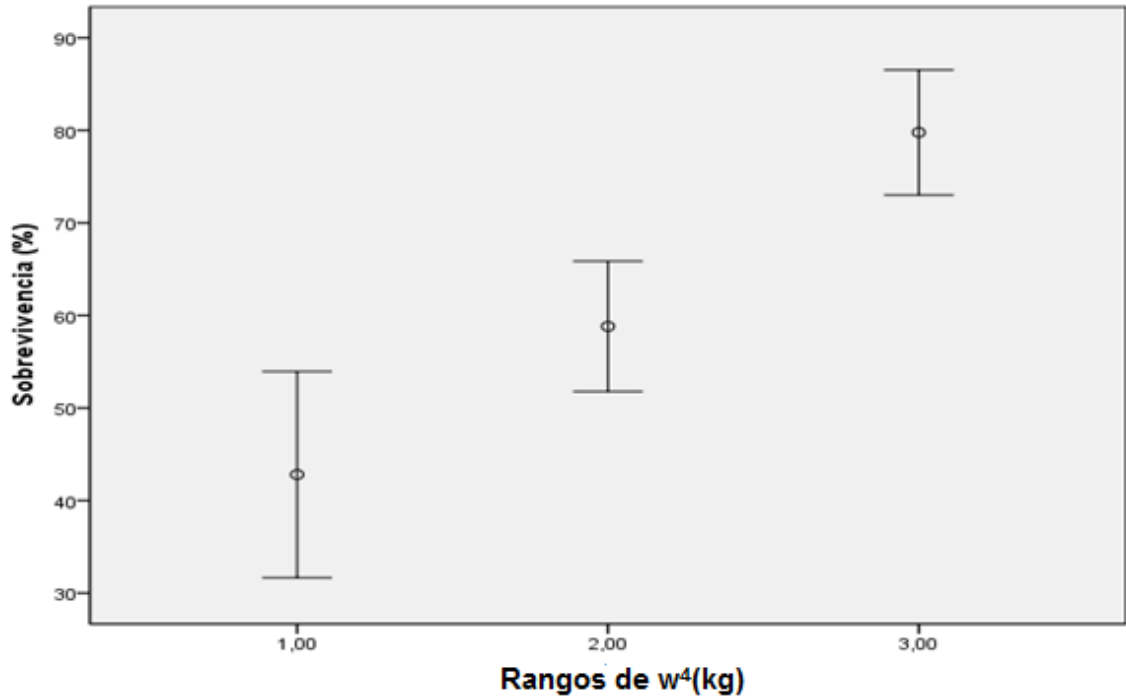


Figura 19: Distribución de sobrevivencia (%) según $w^4(kg)$ en ovas de truchas arcoíris (*O. mykiss*) por grupos.

En la Figura 19 se observa que la dispersión de los $w^4(kg)$ para el grupo 3 ($>7163,92$ kg) fue menor que en los otros grupos (1 y 2) ($<341,88$ kg) y ($341,891-7163,91$ kg), lo cual al mismo tiempo en el grupo 3 hubo una menor dispersión de la variación del porcentaje de sobrevivencia (%) que en grupos anteriores. De ahí se estima y se concluye que, para esta muestra por grupos en pesos, la sobrevivencia (%) se ve favorecida con una mayor dispersión de los $w^4(kg)$.

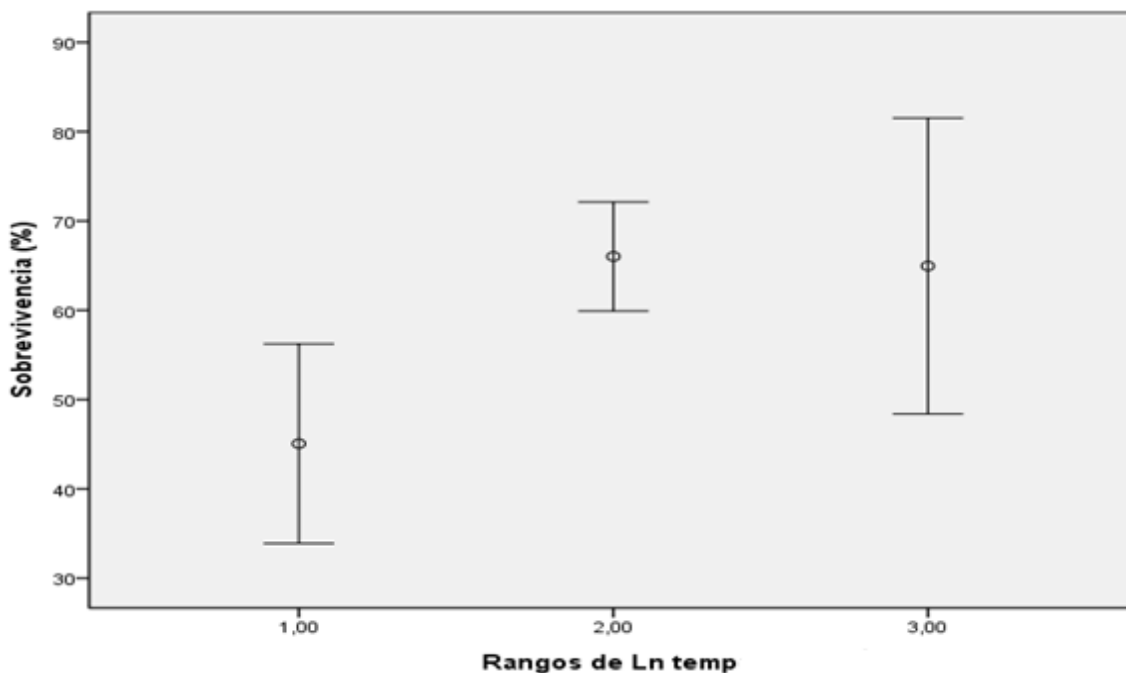


Figura 20: Distribución de sobrevivencia (%) según *ln temp* en ovas de trucas arcoíris (*O. mykiss*) por grupos.

En la Figura 20 se observa que la dispersión del *Ln temp* para el grupo 3 (>2,27 (°C)) fue menor que en los otros grupos (1 y 2) (<1,99 (°C)) y (2,0-2,26 °C)), lo cual al mismo tiempo en el grupo 3 hubo una menor dispersión de la variación del porcentaje de sobrevivencia (%) que en grupos anteriores. De ahí se estima y se concluye que, para esta muestra por grupos en pesos, la sobrevivencia (%) se ve favorecida con una menor dispersión del *Ln temp*.

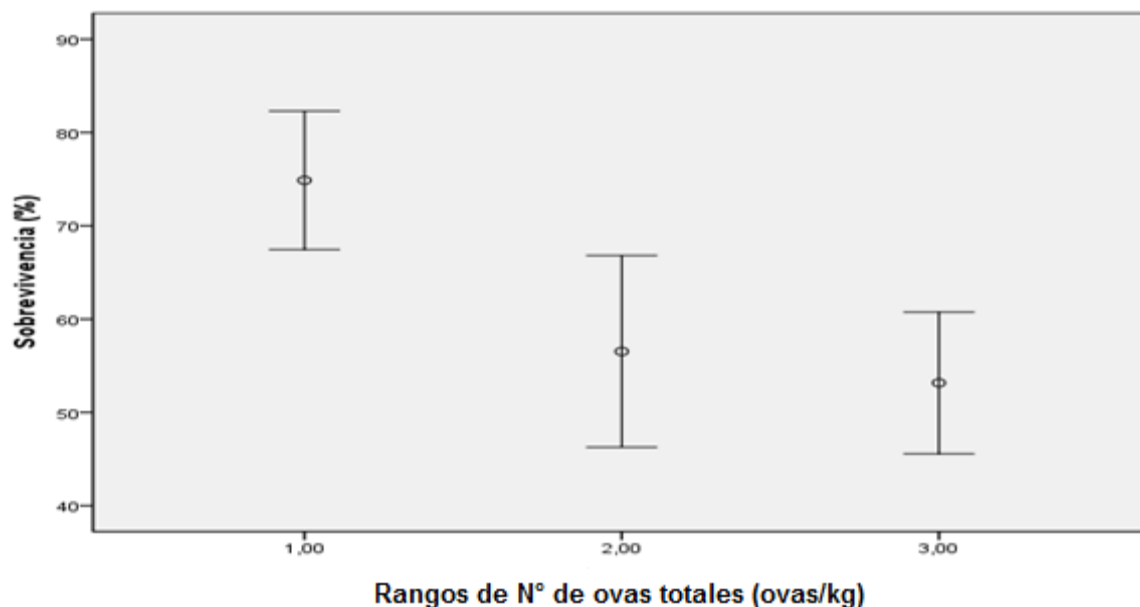


Figura 21: Distribución de supervivencia (%) según N° de ovos totales (ovos/kg) en ovos de trucas arcoíris (*O. mykiss*) por grupos.

En la Figura 21 se observa que la dispersión de N° de ovos totales (ovos/kg) para el grupo 3 (>1.448 (ovos/kg)) fue mayor que en los otros grupos (1 y 2) (<1.193 (ovos/kg)) y (1.194-1.447 (ovos/kg)), lo cual al mismo tiempo en el grupo 3 hubo una mayor dispersión de la variación del porcentaje de supervivencia (%) que en grupos anteriores. De ahí se estima y se concluye que, para esta muestra por grupos en pesos, la supervivencia (%) no se ve favorecida con una mayor dispersión del N° de ovos (ovos/kg) por hembras.

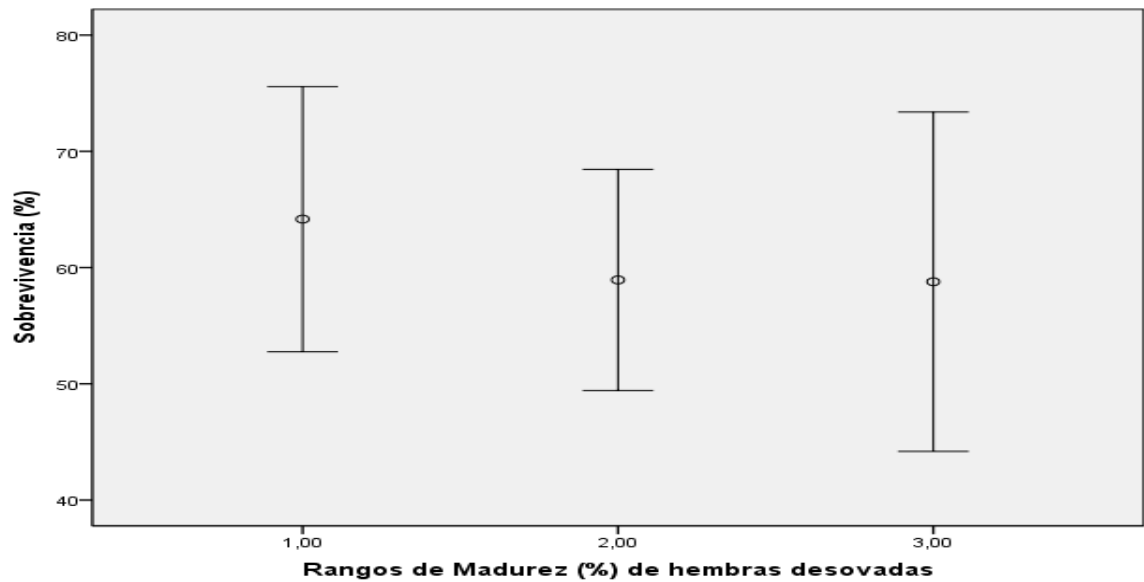


Figura 22: Distribución de supervivencia (%) según madurez (%) de hembras desovadas de truchas arcoíris (*O. mykiss*) por grupos

En la Figura 22 se observa que la dispersión de madurez (%) para el grupo 3 (>9,22 %) fue mayor que en los otros grupos (1 y 2) (<5,48 %) y (5,49-9,21 %), lo cual al mismo tiempo en el grupo 3 hubo una mayor dispersión de la variación del porcentaje de supervivencia (%) que en grupos anteriores. De ahí se estima y se concluye que, para esta muestra por grupos en pesos, la supervivencia (%) no se ve favorecida con una mayor dispersión de la madurez (%) de hembras desovadas.

Finalmente, se realizó correlación de Pearson, para ver si existe asociación entre las variables mencionadas posteriormente.

a) Análisis de correlación para la supervivencia (%) entre las variables: pesos (kg) por hembras, N° ovas totales (ovas/kg) por hembras, temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación y madurez (%).

En la Tabla 8 se presenta la correlación que tiene cada variable de forma independiente, se observó que existe correlación significativa entre las variables:

pesos (kg), N° ovas totales (ovas/kg) por hembras, temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación y madurez (%).

Tabla 8: Correlación para las variables: pesos (kg) hembras, N° ovas totales (ovas/kg) por hembras y temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación

Variables		Sobrevivencia (%)	Pesos por hembras (kg)	N° de ovas totales (ovas/kg) por hembras	T° prom. (°C) del agua en sala de incubación	Madurez (%)
Sobrevivencia (%)	C. de Pearson	1	0,705**	-0,312	0,440**	0,091
	Sig. (bilateral)		0	0,581	0,053	0,005
Número de casos	n	39				

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)

En la tabla mencionada anteriormente al existir una correlación significativa de las variables en estudio, sobre la sobrevivencia (%), en relación a pesos (kg), N° de ovas totales (ovas/kg) por hembras, temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación y madurez (%), se puede deducir que existe asociación débil y negativa para el factor N° de ovas (ovas/kg) por hembras ($r=-0,312$), mientras que pesos (kg), temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación y madurez (%) sobre la sobrevivencia (%) señala que se trata de relaciones moderadas y positivas ($r=0,705$), ($r=0,440$) y ($r=0,091$).

4.3 Objetivo específico 3

4.3.1 Estimar un modelo predictivo de sobrevivencia embrionaria de ovas para proponer condiciones biológicas y ambientales que favorezcan la sobrevivencia.

4.3.2 Modelo de Regresión Lineal Múltiple

Para la estimación de las variables transformadas independientes sobre la variable transformada dependiente por grupos de hembras (*O. mykiss*) desovadas entre los años 2014, 2015 y 2016, se realizó coeficientes de regresión parcial para el modelo de regresión lineal múltiple ANOVA, el cual se observa en la Tabla 9.

Tabla 9: Coeficiente de regresión parcial para el modelo de regresión lineal múltiple, con sobrevivencia (%) como variable dependiente

Modelo	Coeficiente no estandarizados β_k	Error típico	Coeficientes estandarizados Beta	t	Sig.
Constante	-28,84	40,77	-	-0,71	0,48
$w^4(kg)$	0,004	0,001	0,81	4,72	0,00
<i>Ln temp</i>	16,42	16,00	0,16	1,03	0,31
N° ovas (ovas/kg) por hembra)	0,24	0,012	0,29	1,97	0,057
Madurez (%)	0,72	0,65	0,15	1,11	0,27

Tabla 10: Coeficiente de regresión parcial para el modelo de regresión lineal múltiple, con sobrevivencia (%) como variable dependiente

Modelo	Coeficiente no estandarizados	Error típico	Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	β_k		Beta		
Constante	-1,651	32,76	-	-0,50	0,96
$w^4(kg)$	0,005	0,001	0,84	4,99	0,00
<i>Ln temp</i>	7,76	14,03	0,07	0,55	0,58
N° ovas (ovas/kg) por hembra)	0,21	0,012	0,26	1,76	0,086

Tabla 11: Coeficiente de regresión parcial para el modelo de regresión lineal múltiple, con sobrevivencia (%) como variable dependiente

Modelo	Coeficiente no estandarizados	Error típico	Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	β_k		Beta		
Constante	13,43	17,95	-	0,75	0,46
$w^4(kg)$	0,005	0,001	0,88	6,04	0,00
N° ovas (ovas/kg) por hembra)	0,021	0,012	0,27	1,81	0,07

En las Tablas 9, 10 y 11 se observa los coeficientes de regresión parcial para el modelo de regresión lineal múltiple, observando el nivel crítico asociado a la sobrevivencia (%) en embriones de (*O. mykiss*) por grupos. En la Tabla 9 las

variables *Ln temp* y madurez (%) por hembras de (*O. mykiss*) tienen coeficientes no significativo ($p > 0,05$), por tanto, no influye sobre ella y no es explicativa.

Posteriormente, en las Tablas 10 y 11 las variables madurez (%) y *Ln temp* fueron excluidas, debido a su significancia es no significativo ($p > 0,05$), así no influye sobre la sobrevivencia (%).

Por lo tanto, en la Tabla 11 las dos variables independientes restantes $w^4(kg)$ y N° de ovas (ovas/kg) por hembras de (*O. mykiss*) tienen coeficientes significativo ($p < 0,05$), por tanto, contribuyen significativamente a explicar lo que ocurre con la variable Sobrevivencia (%). El cual la se obtuvo un $R^2 = 0,523$ y $F = 11,401$ con un intervalo de confianza del 95% (ver Anexo 14).

En los coeficientes no estandarizados se encuentran los coeficientes (β_k) que forman parte de la ecuación sobre la sobrevivencia (%).

$$S (\%) = 13,43 + 0,005 \times w^4(Kg) + 0,021 \times NOV$$
$$\rho < 0,46 \quad \rho < 0,00 \quad \rho < 0,07$$

Donde:

$S (\%)$ = Sobrevivencia embrionaria (%) en ovas de trucha arcoíris (*O. mykiss*).

$w^4(Kg)$ = Pesos (kg) de hembras de trucha arcoíris (*O. mykiss*).

NOV = Número de ovas por peso hembras (kg) desovadas de trucha arcoíris (*O. mykiss*).

Posteriormente para determinar cuál de las variables independientes tienen mayor incidencia sobre la variable dependiente, se observó los coeficientes estandarizados β , mostrado en la Tabla 11. Las variables que tienen menor importancia en la ecuación para el modelo de regresión lineal múltiple fue NOV y el que posee mayor importancia sobre la ecuación de regresión lineal múltiple fue la variable $w^4(kg)$.

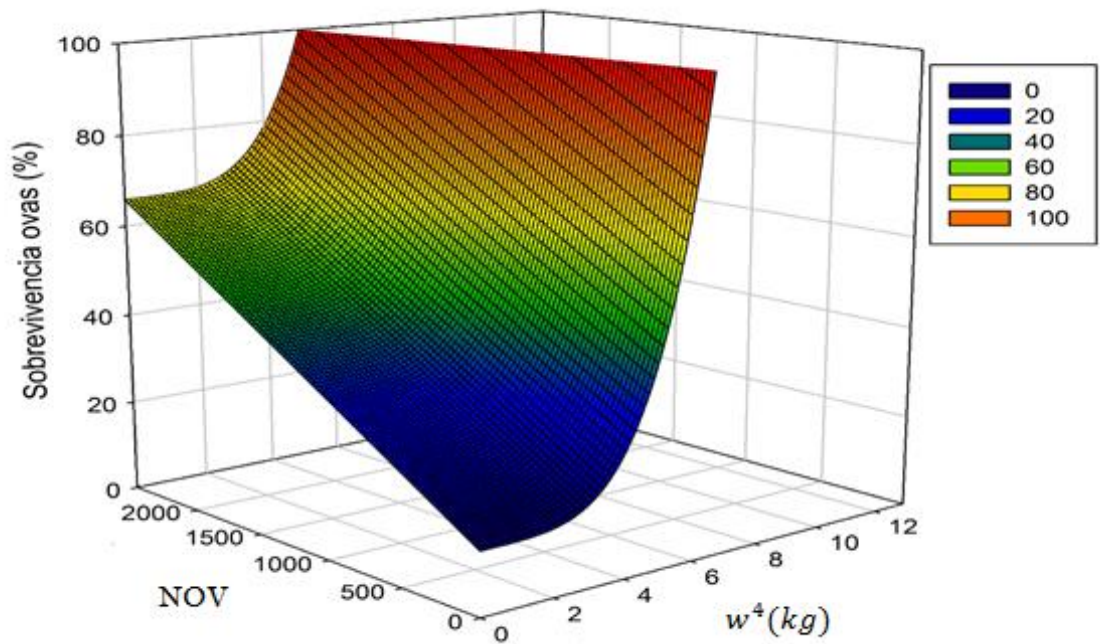


Figura 23: Modelo de estimación de sobrevivencia (%) de ovas en relación a los NOV y $w^4(kg)$.

Mediante el gráfico presentado en la Figura 23, se muestra el modelo que explica la sobrevivencia en función de las variables NOV y $w^4(kg)$ (ver Anexo 15, 16 y 17).

La Figura 23 presenta los posibles escenarios de sobrevivencia basado en las variables número de ovas y pesos de las hembras. En esta se observa que a mayor peso de las hembras es posible esperar un mayor número de ovas y sobrevivencia. Sin embargo, se espera alcanzar a un peso mayor a 6 kg un mayor número de ovas y sobrevivencia.

Escenarios evaluados para las variables $w^4(kg)$ y NOV sobre la sobrevivencia (%) por grupos de desoves de *O. mykiss*.

Dicho escenario tiene como punto de partida comparar variables para estimar una mayor sobrevivencia (%) en ovas de *O. mykiss* entre los años 2014, 2015 y 2016 por grupos de hembras desovadas.

Cabe destacar que estos escenarios evaluados por grupos de hembras de (*O. mykiss*), arrojaron resultados necesarios que contrastan con la ecuación lineal múltiple y posteriormente al modelo. Este modelo tendría información para la toma de decisión para describir la mayor y menor sobrevivencia embrionaria (%) en fase de incubación del centro de cultivo.

Dicho escenario obtenido se enmarca dentro de lo esperado, esto se debe a que los datos proporcionados por el centro de cultivo nos dan cuenta que durante el tercer año de desove (2016), existe un alto porcentaje de sobrevivencia embrionaria (%) que en años anteriores (2014-2015) y que al aumentar en NOV y $w^4(kg)$ por hembras desovadas, incrementa en sobrevivencia (%). Cabe destacar que al disminuir dichas variables, habría una reducción en el porcentaje de sobrevivencia por grupos de hembras desovadas.

V. Discusión

Esta investigación tuvo como propósito caracterizar la sobrevivencia en ovas de truchas arcoíris (*O. mykiss*) del centro de cultivo de la empresa Salmones Caleta Bay, S. A. Puerto Montt, se procedió analizar cuáles son aquellos factores que más se presentó en los grupos estudiado, cómo se manifestó en intensidad, por grupos hembras desovadas y cuál era la prevalencia de sobrevivencia de cada grupo. Además, se evaluó la relación entre la sobrevivencia (%) embrionaria en ovas de (*O. mykiss*) y factores biológicos y ambientales.

Los resultados presentados en el objetivo 1 indican que los histogramas en promedios para las variables sobrevivencia (%) y N° de ovas totales (ovas/kg), para ver si existen diferencias entre grupos de hembras desovadas por años (2014-2016). Por un lado para sobrevivencia (%) la muestra por años de desoves fue de 60,37% en este sentido Goetz y Coffman (2000), obtuvieron tasas de sobrevivencia que van desde 55% a 66,7% hasta que inició la etapa de ovas con ojos, en experimentos de laboratorio con ovas de trucha arcoíris. Por otra parte el N° de ovas totales (ovas/kg) obtenida en este estudio fue de 1.334 ovas/kg se encontraban fuera de los rangos descritos por Huet (1978) en la literatura (1.500-2.000 ovas/kg), en el cual, puede ser atribuida al aumento del peso corporal de las hembras de los últimos años de desove en dicho centro de cultivo.

El peso corporal de las hembras y el volumen total de los ovocitos son parámetros que al correlacionarse entre sí permiten predecir el comportamiento reproductivo de los peces analizados, según (Kingham en 1983). Tanto el número de ovocito producidos como su tamaño se encontraron relacionados entre sí y dependieron fundamentalmente de la edad de las hembras. Según (Jonsson y Jonsson, 1999), se ha demostrado que existe un balance entre el tamaño y el número de huevos en hembras de trucha común (*Salmo trutta*). Thorpe *et al.*, (1984), describió una relación similar para el salmón del Atlántico (*Salmo salar*) basado en la longitud

del cuerpo. Por el contrario, el peso corporal mostró una baja correlación negativa con la fecundidad relativa.

El potencial reproductivo de hembras de trucha común (*Salmo trutta*) está determinado por el número y calidad de sus huevos, existiendo varios factores que influyen en el tamaño del huevo, entre los que el tamaño de la hembra es el más importante (Elliott, 1995 y Fleming, 1996).

Experimentalmente se ha demostrado que existe un balance entre el tamaño y el número de ovocito en individuos maduros. Nicola y Almodóvar (2002), al incrementar la talla de la hembra aumenta el número de ovas y tamaño. Existe una controversia en la literatura con respecto a la relación entre el tamaño del huevo y la viabilidad del huevo en los salmónidos. Algunos autores sostienen que los huevos pequeños tienen las tasas de supervivencia más bajas (Bromage y Cumaranatunga 1988), mientras que otros apoyan la idea de que la sobrevivencia es independiente del tamaño del huevo (Thorpe *et al.*, 1984).

Kinghorn (1983), al correlacionar el diámetro del ovocito y el peso corporal en hembras primerizas concordó con la disminución del desarrollo de las gónadas de éstas, las cuales alcanzaran su máximo desarrollo en los desoves sucesivos.

Varios factores influyen en el diámetro del ovocito, siendo el tamaño de la hembra el factor más importante (González *et. al.*, 2010), lo que se observó en la Figura 10 y 11, respectivamente donde se ve que a medida que aumenta el peso (kg) de la hembra, disminuye el número de ovocito, sin embargo se apreció también, que en hembras de menor peso, el número de ovas (ovas/kg) era mayor.

Es importante señalar que una proporción en el desarrollo de los embriones, pueden utilizarse eficazmente como una predicción del embrión en etapas posteriores. Esto es consistente con la proposición de Springate y Bromage (1984), que el principal factor que causa pérdidas en la producción de ovas es la fertilización. Estos autores sugirieron estimar rutinariamente la tasa de fertilización en los centros de cultivos, esta práctica facilitará el descarte temprano de los lotes

de baja calidad, lo que optimizará el espacio de incubación y evitará la proliferación de hongos.

Para el análisis de varianza, ANOVA de un factor, con respecto a la variable sobrevivencia (%) (Tabla 6) se obtuvo el valor de ($p > 0,05$), es decir, no existen diferencias significativas entre $w^4(kg)$, N° ovas (ovas/kg), $ln temp$ y madurez (%) por grupos de hembras. En cuanto a las interacciones mediante ANOVA factorial (Tabla 7), entre las variables $w^4(kg)$, $Ln temp$ y N° ovas (ovas/kg) por grupos no existe diferencias significativa ($p > 0,05$), sobre la sobrevivencia (%) con un nivel crítico asociado al estadístico F de ($p = 0,53$).

En lo que respecta a los análisis mencionados anteriormente la literatura es escasa, por el conocimiento por parte del autor de esta tesis, no existen muchos estudios que exploren y expliquen este tipo de análisis, variables y/o resultados.

Sin embargo, estudios previos para la trucha arcoíris reportaron menor fecundidad relativa (ovas/kg) para hembra de primer año en relación al segundo año de desove. Sin embargo las tasas de sobrevivencia no fueron estadísticamente significativa (Logan y Johnston, 1992).

De acuerdo a los resultados del objetivo 2, la relación entre la sobrevivencia con respecto al N° de ova (ovas/kg) por hembras, mediante gráficos de dispersión (Fig. 17) no existió asociación lineal en las población de (*O. mykiss*) por hembras a través de los desoves entre los años 2014, 2015 y 2016. Posteriormente se analizó la correlación de Pearson para las variables: pesos (kg) ($r=0,705$), N° ovas (ovas/kg) por hembras ($r=-0,312$), temperatura prom. (°C) en sala de incubación ($r=0,440$) y madurez (%) por hembras ($r=0,091$). En lo que respecta a las variables y resultados la literatura es escasa y no existen estudios que expliquen estos análisis.

Springate y Bromage (1985), estudió dos grupos de hembras de *O. mykiss* de diferentes edades y pesos. Sin embargo, no se observó correlación entre el peso y

la calidad del ovocito en ambos grupos. Mientras que experimentalmente se han demostrado que el tamaño del ovocito (diámetro) fue correlacionado con el peso de la hembra, no existiendo relación significativa entre el tamaño (diámetro) y calidad del ovocito.

Por otro lado otro estudio relacionado con la fecundidad total (ovas) con respecto al peso corporal, realizado por Estay *et al.*, (1994), que exhibió una relación directa entre ambas variables, es decir, hembras más grandes produjeron más ovas). Se estimó un coeficiente de regresión lineal significativo ($p < 0,001$) de 1.511 (ovas/kg) con 905 observaciones individuales (coeficiente de correlación $r = 0,71$). Por otra parte, la fecundidad relativa indica una correlación pequeña y negativa ($r = -0,14$) con respecto al peso corporal ($p < 0,001$).

En el objetivo 3 se planteó un modelo evaluado para probar de esta forma el ajuste que poseen la totalidad de las variables independientes sobre la variable dependiente (Tabla 11), aplicando Modelos de Regresión Lineal Múltiple, en los que respecta a las variables *NOV* y $w^4(kg)$ los resultados descritos para este modelo, la literatura es escasa, y no existen estudios que exploren y expliquen la sobrevivencia (%) de *O. mykiss*.

Escenarios evaluados por grupos para las variables $w^4(kg)$ y *NOV* sobre la sobrevivencia (%).

Para determinar cuál de las variables independientes tienen mayor incidencia sobre la variable dependiente, se observó que la variable *NOV* tiene menor importancia en la ecuación de regresión lineal múltiple que la variable $w^4(kg)$.

Mediante el modelo (ver Figura 23), es posible observar las zonas de más baja sobrevivencia y las condiciones de mayor sobrevivencia, siendo las zonas óptimas hembras de mayor tamaño (> desde 6 a 10 kg) y en condiciones en que el número de ovas por kg de hembra es > 2000.

En relación a modelos evaluados descritos en literatura, no explican las razones que expliquen este tipo de análisis y resultados, mencionados anteriormente para dichas variables. En cuanto a las de más variables no aportaron a explicar la sobrevivencia observada.

Por el contrario para la variable ambiental (temperatura (°C) del agua en sala de incubación) analizado en este estudio no aportó en el modelo, de acuerdo a lo observado en la ecuación de regresión lineal múltiple. Debido que es un factor principal para la sobrevivencia de salmónidos. Experimentos de incubación con ovas de *O. mykiss* en Chile mostraron que las tasas más altas de sobrevivencia se obtuvieron a 8 °C (Estay y Díaz, 1994).

La temperatura tiene un impacto importante en la calidad del ovocito, especialmente durante la temporada de reproducción y desove. Según Aegerter y Jalabert (2004), temperaturas alta y baja puede tener un impacto negativo en la calidad del ovocito, dependiendo de la especie. En la trucha arcoíris, temperaturas de 15 °C y superiores pueden reducir significativamente la calidad del huevo).

En este sentido, las variables y/o resultados de este estudio de investigación son de importancia pues permiten explicar, de una manera exploratoria, las relaciones entre las variables estudiadas. No obstante, más estudios y mayor registro de datos operacionales y ambientales, en fase de incubación favorecerían a detectar condiciones de operación óptimas en la producción de trucha arcoíris en Chile, son necesarios para conjeturar hipótesis y explicar resultados e interacciones entre estas variables.

VI. Conclusiones

1. Se observan que los pesos (kg) a través de los años de los desoves tienen altos valores en relación a la edad de los reproductores, lo cual tiene como consecuencia una baja disminución en el rendimiento de las ovas (ovas/kg) por hembras. En cambio a la edad de tres años de madurez se encontró una baja disminución en el número de ovas (ovas/kg) expulsadas por grupos de hembras desovadas y un aumento en pesos (kg) de las truchas (*O. mykiss*).
2. Entre las interacciones de las variables $w^4(kg)$, $Ln temp$ y N° de ovas totales (ovas/kg) ($p=0,53$) analizados mediante estadísticas ANOVA factorial no es significativamente distinta por hembras sobre la sobrevivencia (%) en ovas de (*O. mykiss*).
3. Mediante la correlación de Pearson, la variable N° ovas totales (ovas/kg) por hembras, señala que se trata de una relación débil ($r=-0,312$), mientras que la variable pesos (kg), temperaturas prom. (°C) en sala de incubación y madurez (%) señala que se trata de una relación moderada y positiva sobre la sobrevivencia (%) ($r= 0,705$), ($r=0,440$) y ($r=0,091$).
4. Para la estimación de los modelos predictivos, realizado por el programa SPSS se realizó un modelo de regresión lineal múltiple que obtuvo un R^2 de 0,523 (ajustado) y $F= 11,401$ con un nivel de confianza de un 95%.

$$S (\%) = 13,43 + 0,005 \times W^4(Kg) + 0,021 \times NOV$$
$$\rho < 0,46 \quad \rho < 0,00 \quad \rho < 0,07$$

5. Se propusieron escenarios evaluados por grupos de hembras (*O. mykiss*) en los diferentes años de desoves, es posible observar las zonas de más baja sobrevivencia y las condiciones de mayor sobrevivencia, siendo las zonas óptimas hembras de mayor tamaño (> desde 6 a 10 kg) y en condiciones en

que el número de ovas por kg de hembra es > 2000 . En cuanto a las de más variables no aportaron a explicar la sobrevivencia observada.

VII. Referencias Bibliográficas

- Aegerter, S. y Jalabert, B. (2004). Effects of post-ovulatory oocyte ageing and temperature on egg quality and on the occurrence of triploid fry in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, vol. 231, pp.59–71.
- Aquino, G. (2009). Manual básico para el cultivo de Truchas Arcoíris (*O.mykiss*). Lima, Perú, pp. 9- 10.
- Barnabe G. (1991). Acuicultura. Vol. II (Editorial Omega S.A.), p. 572.
- Barnabe, G. y Rene, F. (1996). Bases Biológicas y Ecológicas de la Acuicultura. (Edit. Acribia. Zaragoza).
- Bastardo, H., Coché, Z., y Alvarado, H. (1988). Manual técnico para el cultivo de truchas en Venezuela. Ministerio de Agricultura y Cría, pp. 94- 96.
- Bastardo, H. (1999). Efecto del alimento sobre algunos aspectos reproductivos de la trucha arcoíris, *Oncorhynchus mykiss*, en un criadero venezolano. *Latin. Nutrición*, 4(49), pp. 367-372.
- Bastardo, H., Guedez, C., y León, M. (2004). Características del semen de trucha arcoíris de diferentes edades, bajo condiciones de cultivo en Mérida, Venezuela. *Zootecnia Trop.*, vol. 22, no, 3, consultado: 4 abril 2016, <http://www.scielo.org.ve/>.
- Bobe, J. y Labbé, C. (2010). Egg and sperm quality in fish. *Endocrinol*, vol. 165, no.3, pp. 535–548.

- Blanc, J. (2002). Effects of egg size differences on juvenile weight between and with in lots in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Ciencia*, vol. 33, consultado: 19 mayo 2016, <http://www.theriojournal.com>.
- Blanco, M. (1994). *La trucha Cría Industrial*. (Edit. Mundi-Prensa). Madrid, Barcelona y México, p. 76.
- Bromage, N. y Cumaranatunga, R. (1994). Egg production in the Rainbow Trout, In *Recent Advances in Aquaculture*. vol. 63, University Press, Cambridge, pp. 169.
- Bromage, N., Jones, J., Randall, C. y Barker G. (1992). Broodstock management, fecundity, egg quality and the timing of egg production in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, vol. 100, pp. 141–166.
- Bromage, N. y Coward K. (1990). Fecundity, egg size and total egg volume differences in 12 stocks of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture and Fisheries Management*, vol. 21, pp. 269-284.
- Bromage, N. y Duston J. (1986). The control of spawning in the rainbow trout using photoperiod techniques. *Rep. Inst. Res. Drotttn*, vol. 63, pp. 26-35.
- Burgos, M. (1999). *Malformaciones encontradas en alevines de salmon del Atlántico (*Salmo salar*) proveniente de ovas nacionales e importadas en una piscicultura de la Décima Region, Chile* (Tesis para optar al título de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Veterinarias), Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Bushmann, A., Riquelme, V., Varela, D., Jiménez, J. y Filún, L. (2006). A review of the impacts of salmonid farming on marine coastal ecosystem in the southeast Pacific. *Journal of Marine Science*, vol. 63, pp. 1338-1345.

- Campbell, P., Pottinger, T. y Sumpter, J. (1994). Preliminary evidence that chronic confinement stress reduces the quality of gametes produced by brown and rainbow trout. *Aquaculture*, vol. 120, pp.151–169.
- Camacho, E., Moreno, M., Rodríguez, M., Romo, C. y Vásquez, M. (2000). Guía para el cultivo de trucha. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México D.F, p. 2.
- Camus, P. y Koutsikopoulos, C. (1984). Incubation experimentale et developpement embryonnaire de la daurade royale, *Sparus aurata*, a differant temperaturas. *Aquaculture*, 42, pp. 117-128.
- Cárdenas, J. (2014). Qué es la Regresión Lineal Múltiple. [Blog] networkianos, consultado: 19 noviembre 2016, <http://networkianos.com/reresion-linal-multiple/>
- Coll, J. (1991). *Acuicultura Marina Animal* (Ed Mundi-Prensa), España.
- Duarte, C. Alcaraz, M. (1989). To produce many small or few large eggs: a size-independent reproductive tactic of fish”, *Oecología*, 80, pp. 401-404.
- Elliott, J. (1995). Fecundity and egg density in the redd for sea trout, *Journal of Fish Biology*, vol. 47, pp. 8893–8901.
- Estay, F., Díaz, N., Neira, Roberto, F. y Fernández, X. (1994). Analysis of reproductive performance of rainbow trout in a hatchery in Chile. *Progressive Fish-Culturist*, vol. 56, no, 4, pp. 244-249
- Fleming, I. (1996). Reproductive strategies of Atlantic salmon: ecology and evolution, *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, vol. 6, pp. 379–416.

- FAO. (2014). *Fisheries and Aquaculture Department*. Recuperado (16 abril de 2016) de http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_chile/es#tcN700AF>
- FAO. (2012). *Fisheries and Aquaculture Department*. Recuperado (10 abril de 2016) de http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus_mykiss/es>
- FAO. (2006). *Fisheries and Aquaculture Department*. Recuperado (16 abril de 2016) de http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus_mykiss/es>
- Frantzen, M., Arnesen, M., Tveiten, H. y Johnsen, K. (2004). Effects of photoperiod on sex steroids and gonad maturation in Arctic charr, *Aquaculture*, vol. 240, pp. 561-574.
- Furci, G. y Pinto, F. (2006). Tasa de conversión en la industria salmonera Chilena. Análisis de Políticas Públicas. Revisado (26 de junio de 2016) de http://www.terram.cl/imaen/storiesapp_34_tasaconversion.pdf.
- González, C., Gortázar, J. y García de Jalón, D. (2010). Trucha común (*Salmo trutta*), Linnaeus, 1758, pp. 2-14.
- González, M. (2009). Manual Básico SPSS. Análisis de Correlación. Facultad de Ingeniería, Talca, Chile, p. 70.
- Goetz, F. y Coffman, M. (2000). Storage of unfertilized eggs of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in artificial media. *Aquaculture*, 184, pp.267–276.

- Henderson, N. (1963). Influence of Light and temperature of the reproductive cycle of the eastern brook trout *Salvelinus fontinalis*. *M. J. Fish. Res. Bd. Can.* 20, pp. 859-89.
- Huet, M. (1998). Tratado de Piscicultura. Tercera Edición (Editorial Madrid), España, p. 201.
- Huet, M. (1978). Text book of fish culture. Breeding and cultivation of fish. Fishing News Books, Farnham, UK.
- Hume, L. (1955). Rainbow trout spawn twice a year”, *California Fish and Game*, vol. 41, p. 117.
- Islam, M., Bazayar, A. y Ahmadi, R. (1973). Egg characteristics and spawning season of rainbow trout”, *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, vol. 39, pp. 741-751.
- Jarpa, M. (1988). Reseñas del programa de prevención de enfermedades y control sanitario de los cultivos de salmón: una visión chilena. En Seminario internacional: Técnicas de Cultivo y manejo del salmón, desarrollos recientes., Santiago, Chile.
- Jonsson, N. y Jonsson, B. (1999). Trade-off between egg mass and egg number in brown trout”, *Journal of Fish Biology*, vol. 55, pp. 767–783.
- Kato, T. y Kamler, E. (1983). Criteria for evaluation of fish egg quality, as exemplified for *Salmo gairdneri* (Rich.). *Aquaculture*, vol. 4, pp.61–78.
- Kinghorn, B. (1983). A review of quantitative genetics in fish breeding. *Aquaculture*, vol. 31, pp.283-304.
- Kinkelin, P. y Ghitiino, P. (1985). Tratado de las enfermedades de 105 peces (Ed. Acribia S. A), Zaragoza.

- Kissil, G., Lupatsch, I., Elizur, A. y Zohar Y. (2001). Long photoperiod delayed spawning and increased somatic growth in gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, vol. 200, pp. 363-379.
- Kinghorn, B. (1983). A review of quantitative genetics in fish breeding, *Aquaculture*, vol. 31, pp. 283-304.
- Kjorsvik, E., Mangor-Jensen, A. y Holmefjord, I. (1990). Egg quality in fishes, *Advances in Marine Biology, Academic Press*, vol.26. pp, 71–113.
- Knut, D. (1917). The maturation of salmon and Trout”, Development of gonades. The Norwegian Classification.
- Kristjansson, L. y Vollestad, L. (1996). Individual variation in progeny size and quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss (Walbaum)*. *Aquaculture Research*, vol. 27, pp. 335–343.
- Kwain, W. (1975). Effects of temperature on development and survival of rainbow trout (*Salmo gairdner*), in acid waters, *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, vol. 32, pp. 493-497.
- Logan, S. y Johnston, E. (1992). Economics of comercial trout production. *Aquaculture*, vol. 100, pp. 25-46.
- Lahnsteiner, F. y Patzner, R. (2008). Rainbow trout egg quality determination by the relative weight increase during hardening: a practical standardization. *Journal of Applied Ichthyology*, vol. 18, pp. 24–26.
- Lubzens, E., Young, G., Bobe, J. y Cerda, J. (2010). Oogenesis in teleosts: How fish eggs are formed. *Rev. Ciencia*, vol. 165. Revisado de (10 mayo de 2016) de www.theriojournal.com.

- Miranda, R. (2013). Cultivo del salmón en Chile. Curso de Salmonicultura. Universidad de los Lagos. Facultad de Pesquerías y Oceanografía. Instituto de Acuicultura. Puerto Montt, Chile, p. 93.
- Nicola, G. y Almodóvar, A. (2002). Reproductive traits of stream-dwelling brown trout *Salmo trutta* in contrasting neighbouring rivers of central Spain. *Freshwater Biology*, vol. 47, no. 8, pp. 1353-1365.
- Palomo, J. (2011). Regresión lineal múltiple (online). Estadística e investigación operativa. Revisado (19 de diciembre de 2016) de <http://ocw.upm.es/estadistica-e-investigacion-operativa/introduccion-a-la-estadistica-basica-el-diseno-de-experimentos-y-la-regresion-lineal/contenidos/Material-de-clase/Regresion-lineal-multiple.pdf>
- Pohl-Branscheid, M. y Holtz, W. (1990). Control of spawning activity in male and female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by repeated foreshortened seasonal light cycles. *Aquaculture*, vol. 86, pp. 93-104.
- Radonic, M., López, A., Oka, M. y Aristizábal, E. (2005). Effect of the incubation temperature on the embryonic development and hatching time of eggs of the red porgy *Pagrus pagrus* (Linne, 1758) (Pisces: Sparidae). *Biología Marina y Oceanografía*, vol. 40, no 2, pp. 91-99.
- Ragash. (2009). Manual de Crianza de la Trucha Arcoíris, Perú, p. 7.
- Roberts, R. (2001). *Fish pathology*, (3rd ed. W.B. Saunders), Philadelphia.
- Roberts, R. (1989). *Fish pathology* (2nd ed. Baillere Tindal), London.

- Salgado, R. (2005). Análisis del Desarrollo de la Salmonicultura Chilena. Proyecto de Título. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Departamento de Economía Agraria. Santiago, Chile, p. 190.
- Salmon Chile. (2016). Especies (Trucha Arcoíris). Recuperado (22 abril de 2016) de <http://www.salmonchile.cl/es/especies.php>.
- Salmon Chile. (2016). Producción. Recuperado (25 noviembre de 2016) <http://www.salmonchile.cl/es/produccion.php>
- Salmonexpert. (2015). Importación nacional de ovas. Recuperado (25 noviembre de 2016) <http://www.salmonexpert.cl/noticias/importacion-nacional-de-ovas-aumenta-en-un-13/>
- Salmonexpert. (2016). Mercado. Recuperado (25 noviembre de 2016) de <http://www.salmonexpert.cl/noticias/agosto-no-se-registran-importaciones-de-ovas/>
- Sánchez, C. (2004). Alimentación, Nutrición, reproducción, mejoramiento, manejo productivo, instalaciones, mercado y la rentabilidad. En: Crianza y Producción de Truchas, (R. Palomino (Ed.), Lima; Perú, pp. 9-134.
- Sernapesca. (2016). Importación de ovas de Truchas. Consultado: 25 noviembre de 2016 de <http://www.aqua.cl/2016/02/24/en-enero-importaciones-de-ovas-de-truchas-llegan-a-los-880-000/>.
- Soto, D. y Norambuena, F. (2004). Evaluation of salmon farming effects on marine systems in the inner seas southern Chile: a large-scale mensurative experiment, *Journal of applied Ichthyology*, vol. 20, pp. 493-501.

- Schreck, C. y Fitzpatrick, M. (2001). Effects of stress on fish reproduction, gamete quality, and progeny. *Aquaculture*, vol.197, pp. 3-24.
- Springate, J., Bromage, N. (1985). The effects of different rations on fecundity and egg quality in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*). En: *Nutrition and Feeding in Fish* (ed. by C.B. Cowey, A.M. Mackie & J.A. Bell). London, pp. 371-391.
- Springate, J. y Bromage, N. (1984). Broodstock management: egg size and number — the "trade-off". *Fish Farmer*, pp. 12-14.
- Springate, J., Bromage, N., Elliott, J. y Hudson, D. (1984). The timing of ovulation and stripping and their effects on the rates of fertilization and survival of eyeing, hatching and swim-up in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture*, vol. 43, pp. 313–322.
- Subpesca, (2016). Departamento de Análisis Sectorial Recuperado (21 junio de 2016) de http://www.subpesca.cl/publicaciones/606/articles-93476_documento.pdf
- Subpesca (2016). Especies hidrobiológicas, trucha arcoíris. Recuperado (20 junio de 2016) de <http://www.subpesca.cl/institucional/602/w3-article-865.html>
- Torres, J. y C. Fajardo. (2011). Tratamientos profilácticos anti-saprolegniasis para mejorar la sobrevivencia embrionaria en ovas de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), Venezuela. *Zootecnia Trop.*, vol. 29, no.2. Revisado (7 mayo de 2016) de <http://www.scielo.org.ve/>.
- Thorpe, J. (1989). Developmental variation in salmonid populations. *Journal of Fish Biology*, vol. 35, pp. 295-303.

- Thorpe, J., Miles, E. y Keay, D. (1984). Developmental rate, fecundity and egg size in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture*, vol. 43, pp.89-305.
- Van Someren, V. (1939). Research at Wonersh. *The Salmon and Trout Magazine*, vol. 95, pp. 156-163.
- Whitehead, C. y Bromage, N. (1980). Effects on constant long and short day photoperiods on the reproductive physiology and spawning of the rainbow trout. *Journal Endocrinol*, vol. 87, pp. 6-7.
- Zangh, H., Gall, G. y Hung, S. (1990). Effect of sire, diet and week of spawning on volume of eggs retained by artificially spawned rainbow trout. *Aquaculture*, vol. 87, pp. 23–33.
- Zanuy, S. y Carillo, M. (1973). Estudio histológico del ovario de Cabrilla. *Investigación Pesquera*, pp. 147-165.

VIII. Anexos

Anexo 1: Contrastes de Levene sobre la igualdad de varianza para $w^4(kg)$ por grupos de hembras (*O. mykiss*)

Variable	F	gl1	gl2	Sig.
$w^4(kg)$ de (<i>O. mykiss</i>)	0,242	12	26	0,746

Anexo 2: Contraste de Levene sobre la igualdad de varianza para N° ovas (ovas/kg) por grupos de hembras (*O. mykiss*)

Variable	F	gl1	gl2	Sig.
N° ovas (ovas/kg) de (<i>O. mykiss</i>)	1,049	12	26	0,020

Anexo 3: Contraste de Levene sobre la igualdad de varianza para $Ln temp$ por grupos de hembras (*O. mykiss*)

Variable	F	gl1	gl2	Sig.
$Ln temp$ de (<i>O. mykiss</i>)	0,428	12	26	0,233

Anexo 4: Contraste de Levene sobre la igualdad de varianza para las interacciones en $w^4(kg)$, N° ovas totales (ovas/kg) y $Ln temp$ por grupos de hembras (*O. mykiss*)

Variables	F	gl1	gl2	Sig.
$w^4(kg)$ * N° ovas totales (ovas/kg)*	3,477	15	23	0,004
$Ln temp$ de hembras (<i>O. mykiss</i>)				

Anexo 5: Prueba de Normalidad K-S de la variable Sobrevivencia (%)

Variable	Estadístico	gl	Sig.
Sobrevivencia (%)	0,124	39	0,132

Anexo 6: Prueba de Normalidad K-S para la variable $w^4(kg)$ de hembras

Variable	Estadístico	gl	Sig.
$w^4(kg)$ de hembras (<i>O. mykiss</i>)	0,17	39	0,003
(<i>O. mykiss</i>) por grupos			

Anexo 7: Prueba de Normalidad K-S para la variable N° ovas totales (ovas/kg) de hembras (*O. mykiss*) por grupos

Variable	Estadístico	gl	Sig.
N° ovas totales (ovas/kg) de hembras de (<i>O. mykiss</i>)	0,133	39	0,081

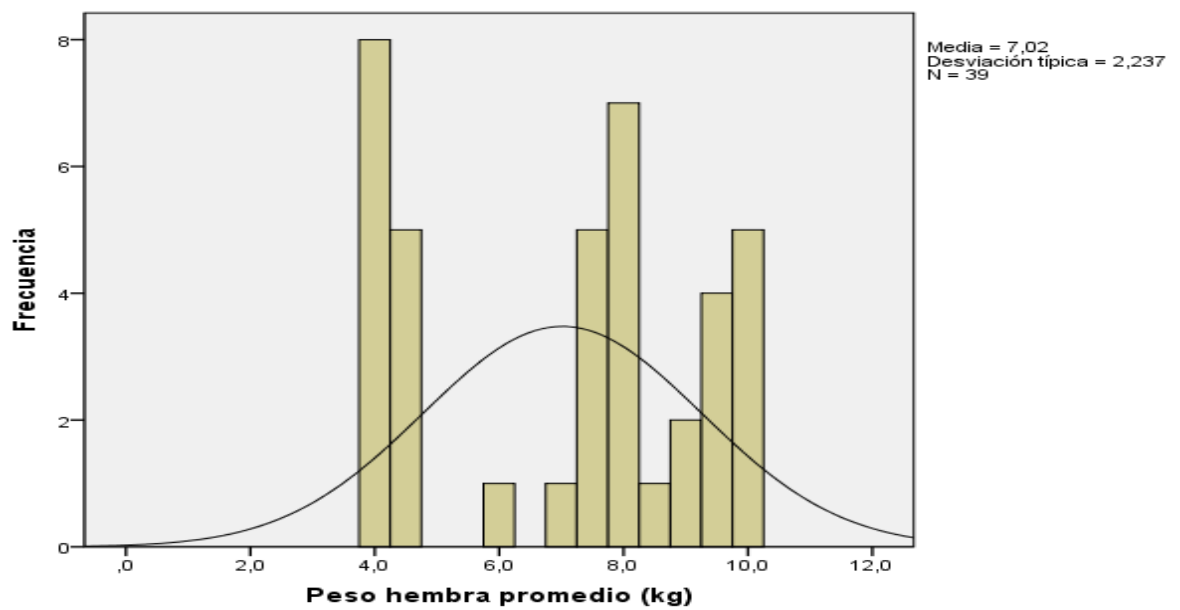
Anexo 8: Prueba de Normalidad K-S para la variable $Ln temp$ de hembras (*O. mykiss*) por grupos

Variable	Estadístico	gl	Sig.
$Ln temp$ de (<i>O. mykiss</i>)	0,118	39	0,190

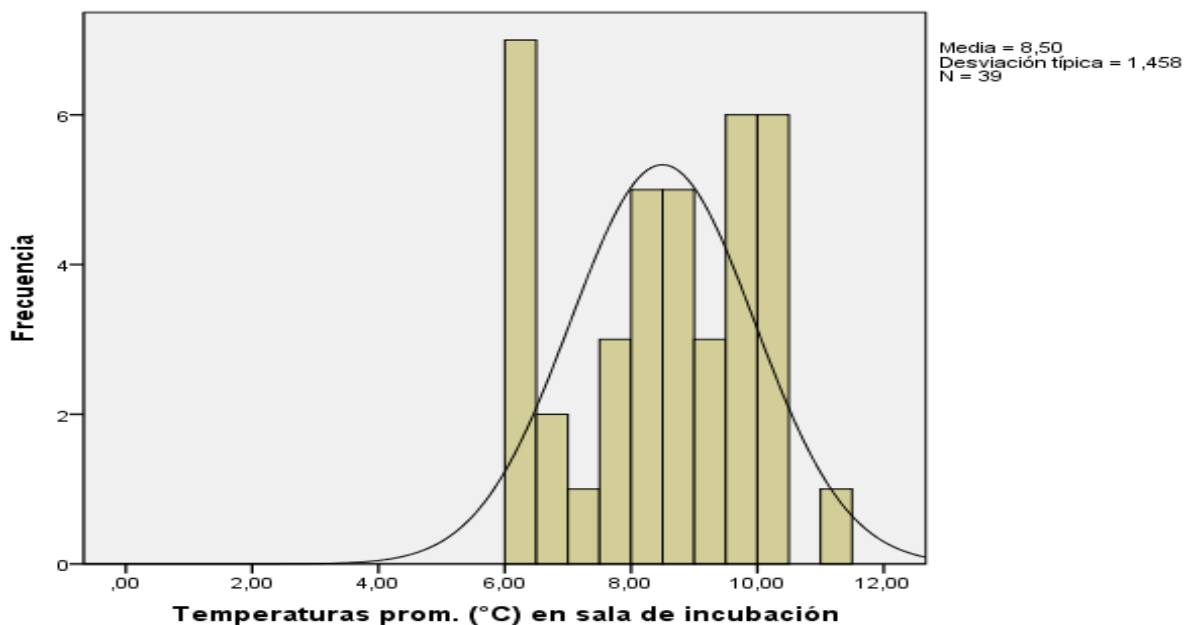
Anexo 9: Prueba de Normalidad K-S para la variable madurez (%) de hembras (*O. mykiss*) por grupos

Variable	Estadístico	gl	Sig.
Madurez (%) de (<i>O. mykiss</i>)	0,138	39	0,060

Anexo 10: Distribución no normal para la variable pesos (kg) de hembras de (*O. mykiss*)



Anexo 11: Distribución no normal para la variable temperatura prom. (°C) del agua en sala de incubación de hembras de (*O. mykiss*).



Anexo 12: Medidas de distribución para la variable temperatura prom. (°C) en sala de incubación en los diferentes años

Años	T (°C) prom. en sala de incubación	T(°C) Mediana	Q1	Q3
2014	6,98	6,4	6,14	7,8
2015	9,28	9,33	8,8	10,3
2016	9,17	9,36	8,7	9,72

Anexo 13: Medidas de distribución para la variable sobrevivencia (%) en ovas de (*O. mykiss*) en los diferentes años

Años	Sobrevivencia prom. (%)	T(°C) Mediana	Q1	Q3
2014	45,05%	0,49	0,42	0,52
2015	57,34%	0,59	0,5	0,67
2016	82,31%	0,83	0,77	0,88

Anexo 14: Resumen del modelo de Regresión Lineal Múltiple, sobre la sobrevivencia (%) en ovas de (*O. mykiss*).

Modelo	R cuadrado corregida	F
1	0,523	11,401

Anexo 15: Resumen de estimación de sobrevivencia (%), *NOV* y $w^4(kg)$ de (*O. mykiss*) por grupos de hembras 2014

Grupos	Años	Sobrevivencia (%)	<i>NOV</i>	$w^4(kg)$
1	2014	54,09	1677	0,28
2	2014	51,85	1485	0,34
3	2014	52,32	1670	0,34
4	2014	52,16	1621	0,28
5	2014	55,12	1222	0,28
6	2014	18,51	1366	0,26
7	2014	51,69	1363	0,34
8	2014	41,77	1394	0,34
9	2014	28,95	1399	0,31
10	2014	49,06	1507	0,28
11	2014	45,55	1448	0,37
12	2014	37,1	1505	0,28
13	2014	47,5	1589	0,28

Anexo 16: Resumen de estimación de sobrevivencia (%), *NOV* y $w^4(kg)$ de (*O. mykiss*) por grupos de hembras 2015.

Grupos	Años	Sobrevivencia (%)	<i>NOV</i>	$w^4(kg)$
1	2015	28,05	1296	3,9
2	2015	36,55	1336	3,7
3	2015	50,34	1298	4,1
4	2015	44,55	1278	3,0
5	2015	59,09	1322	5,5
6	2015	53,86	1102	3,9
7	2015	78,49	1184	3,9
8	2015	67,58	1205	3,7
9	2015	72,41	1042	4,3
10	2015	67,38	1256	3,0

11	2015	66,7	1364	2,8
12	2015	53,46	1381	2,8
13	2015	53,46	1282	2,3

Anexo 17: Resumen de estimación de sobrevivencia (%), *NOV* y $w^4(kg)$ de (*O. mykiss*) por grupos de hembras 2016

Grupos	Años	Sobrevivencia (%)	<i>NOV</i>	$w^4(kg)$
1	2016	67	1147	10,8
2	2016	65	785	9,6
3	2016	82	1182	7,5
4	2016	81	1096	8,9
5	2016	77	1193	9,2
6	2016	88	1123	9,2
7	2016	91	1196	10,0
8	2016	84	1193	7,5
9	2016	93	1238	7,2
10	2016	83	1253	8,5
11	2016	84	1296	6,3
12	2016	73	1524	3,0
13	2016	69	2206	1,1