

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR

Evaluación de la calidad del agua durante el transporte en camiones de smolt de salmón Coho y trucha Arcoíris, Empresa Ventisqueros S.A.

Proyecto para optar al título de Ingeniero Acuicultor
por
José Francisco Cáceres Molina

Valparaíso
2012

Comité de Titulación:

Profesor Guía: Sra. María Isabel Toledo.

Profesor: Sr. Gabriel Yany González.

Profesor: Sr. Felipe Hurtado.

AUTORIZACIÓN DE USO

Al presentar este Proyecto como último requisito para la obtención del título de Ingeniero Acuicultor, autorizo a la biblioteca de la Escuela de Ciencias del Mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, para que disponga libremente de ella. Autorizo además reproducciones parciales o totales de este Proyecto sólo con fines académicos.

José Francisco Cáceres Molina

Nombre del alumno (a)

DEDICATORIA

Simplemente a ti...hijo de mi vida..
Bastían Alfonso Cáceres Vera..
TE AMO..

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. María Isabel Toledo, profesora guía de este Proyecto, por confiar siempre en mí.

A mi familia por su incondicional apoyo, durante toda mi educación superior y darme las fuerzas necesarias para terminar este proyecto.

A Ventisqueros S.A., por darme la oportunidad de demostrar que soy capaz de ser aporte a tan grande Empresa. En especial quisiera agradecer al área de operaciones, específicamente al departamento de smolt, a don Jorge Armijo, Rodrigo Sepúlveda, Rodrigo Rocha y Patricio Lanyon.

A Rodrigo Sepúlveda, actual Jefe de Logística del área de operaciones. Gracias por creer y concederme una oportunidad de demostrar lo que he aprendido.

A Patricio Lanyon, ex-colega y amigo. Por su apoyo en faenas de traslados, por compartir su experiencia laboral y ayudar en mi proyecto de tesis. Muchas gracias....

A José Luis Valenzuela, por su buena disponibilidad y apoyo durante el desarrollo de mi proyecto.

A Transportes Jorquera por su cooperación en faenas de monitoreos y siempre buena disposición durante toda la duración de este proyecto.

A la escuela Ciencias del Mar y profesores de la Comisión por darme el conocimiento y actitud necesaria para enfrentar este gran desafío. Y sobre todo muchas gracias a esta Universidad por regalarme amistades excelentes.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Respuestas fisiológicas al estrés durante el transporte.

Figura N°2: Camión con carro con nueve estanques de plástico reforzado.

Figura N°3: Camión Rampla de acero inoxidable de cuatro estanques.

Figura N°4: Equipo de medición del CO₂.

Figura N°5: Equipo de medición multiparámetro.

Figura N°6: Relación entre porcentaje de saturación de oxígeno v/s temperatura, en traslado de smolt de salmón Coho.

Figura N°7: Relación oxígeno disuelto v/s temperatura, en traslado de smolt de salmón Coho.

Figura N°8: Baja del porcentaje de saturación de oxígeno inicial en la carga de smolt de salmón Coho.

Figura N°9: Relación compuestos amoniacales v/s pH, en traslado de smolt de salmón Coho.

Figura N°10: Relación Acumulación del metabolito dióxido de carbono v/s pH, en traslado de smolt de salmón Coho.

Figura N°11: Acumulación de CO₂ a distintas densidades, en traslado de smolt de salmón Coho.

Figura N°12: Relación saturación de oxígeno saturado v/s temperatura, en traslado de smolt de trucha Arcoíris.

Figura N°13: Relación temperatura v/s oxígeno disuelto, en traslado de smolt de trucha Arcoíris.

Figura N°14: Baja del porcentaje de saturación de oxígeno inicial en la carga de smolt de trucha Arcoíris.

Figura N°15: Relación compuestos amoniacales v/s pH, en traslado de smolt de trucha Arcoíris.

Figura N°16: Relación metabolito CO₂ v/s pH, en traslado de smolt de trucha Arcoíris.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Variación de parámetros del agua durante el traslado de smolt de trucha arcoíris a 60 kg/m³

Tabla 2: Variación de parámetros del agua durante el traslado de smolt de salmón coho a 60 kg/m³

Tabla 3: Variación de parámetros del agua durante el traslado de smolt de salmón coho a 50 kg/m³

Tabla 4: variación de parámetros del agua durante el traslado de smolt de salmón coho a 45 kg/m³

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Base de datos recopilada durante los traslados de salmón Coho a 60 kg/m³

Anexo 2: Base de datos recopilada durante los traslados de salmón Coho a 50 kg/m³

Anexo 3: Base de datos recopilada durante los traslados de salmón Coho a 45 kg/m³

Anexo 4: Base de datos recopilada durante los traslados de trucha Arcoíris a 60 kg/m³

Anexo 5: Gráfico de desviación estándar de curvas a distintas densidades durante el traslado de salmón Coho

CONTENIDO

	pág.
Portada de presentación	
Comité de Titulación	i
Autorización de uso	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Índice de figuras	v
Índice de tablas	vi
Índice de anexos	vii
Contenido	viii
Resumen	ix
1 Introducción	1
2 Antecedentes	3
2.1 Estado del arte	3
2.2 Estrés de los peces en el transporte de peces vivos	4
2.3 Calidad de agua en el transporte de peces vivos	5
2.4 Consecuencias de parámetros del agua fuera de niveles adecuados Para el transporte de peces vivos	6
3 Materiales y métodos	9
3.1 Medios de transporte terrestre de peces vivos	9
3.2 Logística de mediciones durante el traslado de smolt	10
4 Resultados	13
4.1 Resultados de las variaciones de la temperatura, saturación de oxígeno, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno, amonio, amoníaco y dióxido de carbono, durante el traslado de smolt de salmón Coho y trucha Arcoíris.	13
4.2 Elaborar y comparar curvas de comportamiento de los parámetros del agua con datos recomendados	15
4.2.1 Curvas de comportamiento de parámetros abióticos del agua en el traslado de smolt de salmón Coho a 60 kg/m ³	15

4.2.2 Comparación con las distintas densidades de traslado	20
4.2.3 Curvas de comportamiento de parámetros abióticos del agua en el traslado de smolt de trucha Arcoíris	21
5 Análisis de resultados	26
7 Conclusiones	28
8 Recomendaciones	29
9 Referencias Bibliográficas	30
10 Anexos	33

RESUMEN

Este trabajo se enfoca en evaluar el comportamiento de los parámetros del agua durante el transporte terrestre de smolt, que es una de las faenas más críticas, de mayor estrés y en la cual puede superar el 1% de mortalidad. Durante el transporte de tres horas en estanques cerrados de camiones, se monitorearon en forma continua la temperatura (T°), saturación de oxígeno ($O_2\text{sat}\%$), oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrógeno (pH), amonio (NH_4), amoniaco (NH_3) y dióxido de carbono (CO_2). Se graficaron curvas con los datos obtenidos por cada uno de los parámetros evaluados y se observó que el comportamiento más preocupante es el del CO_2 , el cual supera el límite adecuado para el bienestar de los peces propuesto por varios autores de $20\text{ mgCO}_2/\text{l}$. Por consiguiente, se concluye que la calidad del agua y/o condición de los smolt durante un traslado en camiones durante 3 horas, se puede ver afectada por la acumulación de CO_2 . Teniendo como supuesto un ayuno de los peces de 48 horas antes del traslado.

ABSTRACT

This work focuses on evaluating the behavior of water parameters for the inland transport of smolt, which is one of the most critical tasks, increased stress and which may exceed 1% mortality. During the three-hour transport truck closed ponds were monitored continuously in the temperature (T°), oxygen saturation ($O_2\text{sat}\%$), dissolved oxygen (DO), potential hydrogen (pH), ammonium (NH_4), ammonia (NH_3) and carbon dioxide (CO_2). Curves were plotted with the data obtained for each of the parameters evaluated and found to be the most disturbing is the behavior of CO_2 , which exceeds the appropriate threshold for fish welfare proposed by several authors $20\text{ mgCO}_2 / \text{l}$. Therefore, it is concluded that the water quality and / or condition of the smolt during a transfer truck for 3 hours, can be affected by the accumulation of CO_2 . Taking as a fast course fish 48 hours before the transfer.

1.- INTRODUCCIÓN

El transporte de salmónidos en camiones hacia un centro de mar es un proceso que debe llevarse a cabo ya que el pez se encuentra smoltificado y por ende preparado para continuar con su ciclo de vida en aguas salobres. En este estado el pez está más sensible a perturbaciones medioambientales (Stefansson, 2009). La manipulación de los peces en la operación de transporte de peces vivos en camiones, influye directamente en los cambios fisiológicos internos del pez y consecuencias externas, que desencadenan reacciones de estrés, factor importante por las consecuencias negativas que puede traer a corto y largo plazo en los peces (Nomura *et al.*, 2008).

El manejo del estrés, la calidad del agua (Tanget *al.*, 2009), los aspectos sanitarios, la bioseguridad y el bienestar animal (Southgate, 2008.), durante el transporte de smolt en camiones, exigen mejoramientos en los protocolos de cada empresa para poder asegurar de la mejor manera posible la calidad y conservación sanitaria del smolt, (Cabezas, 2007).

Sin embargo, el análisis de los parámetros, sus variaciones y posibles impactos en la fisiología del pez es un tema poco estudiado, *por lo cual encontrar estudios o investigaciones es muy difícil. Dado lo último, el incremento de información sobre esta materia es fundamental para entender aún más el comportamiento de los peces, tanto en un tiempo presente como a futuro. Ya que la manipulación, la densidad y concentración de parámetros en el agua, además de otros puntos, son los principales agentes generadores de estrés en los peces, lo cual se debe controlar de la mejor forma para evitar consecuencias mortales, además de priorizar el bienestar animal y aspirar a la mejor de las condiciones posible de ingreso de un smolt de agua dulce hacia el mar.*

Ventisqueros S.A. empresa dedicada a la salmicultura, se ha dado cuenta de lo expuesto anteriormente y ha decidido investigar y analizar los cambios en la calidad del agua de los estanques de camiones durante el traslado de smolt, teniendo como fin aumentar la eficiencia en la toma de decisiones, mejorar la calidad del smolt entrante al mar y cumplir con las nuevas exigencias para un proceso éticamente aceptable tanto en el ámbito industrial como medioambiental, incluyendo el bienestar animal. En consecuencia, la presente investigación se abocará a **Evaluar la calidad del agua durante el transporte en camiones de smolt de salmón Coho y trucha Arcoíris**. Para ello se han planteado los siguientes objetivos específicos:

- **Conocer las variaciones de la temperatura (T°), saturación de oxígeno ($O_2\text{sat}\%$), oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrógeno (pH), amonio (NH_4), amoniaco (NH_3) y dióxido de carbono (CO_2), durante el traslado de smolt de salmón Coho y trucha Arcoíris.**
- **Elaborar y comparar curvas de comportamiento de los parámetros del agua con datos recomendados.**

2.- ANTECEDENTES

2.1 Estado del arte

El transporte de smolt en camiones, durante los años que lleva la industria del cultivo de salmones en Chile, no ha sufrido grandes cambios respecto a la máquina utilizada para dicho proceso, ya que los medios motorizados siempre han estado presentes, desde furgonetas hasta lo más común actualmente, como son los camiones.

Los estanques han cambiado considerablemente a lo largo de los años. Antiguamente ellos se construían de madera, hierro y acero, por lo que mostraban muchas deficiencias, tales como su gran peso lo que hacía difícil su manejo y manutención, además a menudo goteaban y eran difíciles de desinfectar (Timmonset *al.*, 2002). Los materiales de construcción fueron variando, para luego utilizar fibra de vidrio y aluminio, construidos en forma adecuada con aislante de espuma, así se minimizan los cambios de temperatura y además se permite una correcta desinfección. Para aprovechar el máximo de su volumen se construyen de forma cuadrada o rectangular, aunque también existen circulares y elípticos con fondos parcialmente redondeados (Timmonset *al.*, 2002). Hoy en día existen estanques de traslado de peces vivos con capacidades que van desde 1 a 5 m³ (Rosten, 2009).

Actualmente empresas como Transportes Asencio e Indura ofrecen servicios de welltruck con sistemas de recirculación interna de agua, evitando los cambios de agua y aumentando las densidades de carga hasta los 120 kg/m³. Otro avance importante es la modernización en el control y medición de parámetros durante el transporte. A principios de la acuicultura en Chile, en las faenas de traslado de peces vivos, el control de parámetros tales como el oxígeno y la temperatura era totalmente subjetivo, dado que este se trataba de observar y percibir según el “ojo experto” del encargado del transporte. A mediados de los años 90, se utilizaron en la industria medidores de parámetros del agua (Oxiguard), de esta forma se obtenía un control más seguro y exacto durante el trayecto, en donde el conductor debía detenerse durante cierto tiempo para controlar sus parámetros.

Entre los años 2000 y 2002 se implementaron equipos automáticos de medición de parámetros del agua, conocidos como PT4 (Point Four). Esta tecnología permitió obtener una medición continua de todos los estanques del camión, además, una pantalla en la cabina informa al conductor la situación en tiempo real de los parámetros del agua *tales como el oxígeno saturado, oxígeno disuelto y temperatura*, sin necesidad de que el conductor detenga el camión y baje a medir estanque por estanque. Este novedoso sistema hizo más eficiente la logística de las cargas de peces vivos, mejorando los tiempos de

traslado y entregando seguridad tanto a los dueños de los peces como a los del servicio de traslado.

Actualmente Ventisqueros S.A. trabaja con Transportes Jorquera. Cabe señalar que dicha empresa es una de las más grandes y de mayor tecnología para el traslado de peces vivos en la X regiones. Transportes Jorquera ofrece camiones que cuentan con estanques de fibra de vidrio, de plástico (conocidos como térmicos) y con una flota importante de 20 camiones rampla con estanques ovalados de acero inoxidable. De estos últimos se pueden encontrar con tres o cuatro sub-estanques. La capacidad total de los camiones es de 27 m³, por lo cual en el caso de rampas de cuatro sub-estanques, estos tienen un volumen de 6,75m³ y para los de tres sub-estanques cuentan con 9m³ cada uno.

2.2 Estrés de los peces en el transporte de peces vivos

La capacidad del pez para tolerar la manipulación, el hacinamiento y la perturbación física varía según la especie, la edad, el tamaño y la condición fisiológica (Kaushik, 2000). En el caso de los salmónidos cultivados en Chile, salmón del Atlántico, del Pacífico y trucha Arcoíris, por la propia naturaleza del ciclo de producción, son muy susceptibles al daño y al estrés en el momento de ser transportados de agua dulce al medio salino (Branson, 2008).

Durante la operación de transporte de smolt, desde una piscicultura hacia un centro de mar o hacia un Wellboat, los peces están expuestos a una serie de manejos previos, en los cuales se debe propiciar el menor efecto de estrés. Es importante señalar que los transportes terrestres desde las pisciculturas son por medio de camiones con estanques herméticamente cerrados y que los peces al estar estresados aumentan el consumo de O₂ y por lo tanto, producen más residuos metabólicos (CO₂, NH₃-N) (Nomura *et al.*, 2008).

Los peces frente a un agente estresor responden secretando hormonas tales como cortisol y catecolaminas en la sangre de forma casi inmediata, en cosa de minutos (Nomura *et al.*, 2008; Krise *et al.*, 2001; Portzet *et al.*, 2005). Esto trae como consecuencias secundarias efectos negativos como cambios en actividades metabólicas. Además cambios en la tasa de crecimiento o en el comportamiento, se consideran respuestas de estrés terciarias (Fig. 1) (Portzet *et al.*, 2005). El cortisol interviene en la movilización del glucógeno en el hígado, la liberación de glucosa en el torrente sanguíneo y la preparación de los peces para la acción (Nomura *et al.*, 2008). Al igual que en seres humanos, el ácido láctico se hace presente en los músculos una vez que estos se tensan durante un ejercicio, en este caso la tensión vivida por el pez durante el estrés provocado por las etapas que constituyen la carga de smolt (Portzet *et al.*, 2005). Una vez que el ácido láctico se haya en la

sangre, este se disocia en protones e iones de lactato plasmático, previamente metabolizado en el hígado (Gatica *et al.*, 2010).

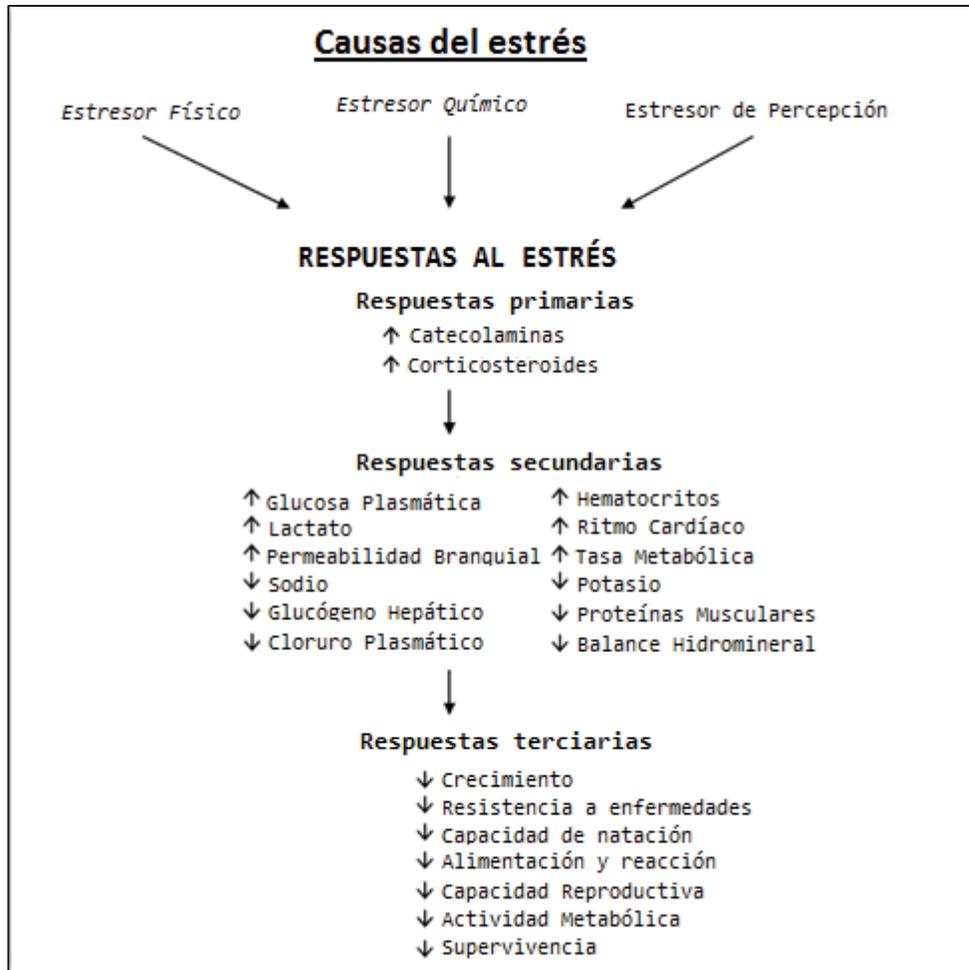


Figura N°1: Respuestas fisiológicas al estrés durante el transporte (Portzet *al.*, 2005).

2.3 Calidad de agua en el transporte de peces vivos

Para una buena calidad de agua durante el traslado de peces vivos, es fundamental controlar y conocer las relaciones de distintos parámetros o variables del agua, ya que si alguna de estas se expresa con niveles fuera del rango tolerable por la especie en el transporte, llevará a los individuos a un estado de estrés y a algún tipo de consecuencia debida a esto, pudiendo ocasionar hasta la muerte, (fig. 1). Los parámetros de calidad del agua más comunes que influyen en el estrés fisiológico son: temperatura, oxígeno disuelto, salinidad, dióxido de carbono, pH, alcalinidad, dureza, amoníaco y nitritos. (Portzet

al.,2005). Es importante señalar que el concepto de calidad del agua para el transporte de peces, involucra también el alza o baja de parámetros que la componen ya que estas variaciones aumentan el estrés en el animal, (Krise *et al.*, 2001).

Como se planteó en el punto anterior, la calidad del agua se puede ver alterada por cambios en las concentraciones de los parámetros que la identifican. La calidad del agua durante el transporte de peces vivos se puede deteriorar rápidamente (1 o 2 horas después de la carga de los peces) debido al alto estrés de los individuos, reacciones físicas, excreción de metabolitos acelerada y/o descomposición de materia orgánica (Portzet *et al.*, 2005).

En condición de estrés, densidad de la población relativamente elevada y estanques cerrados durante el de transporte en camiones, los peces consumen mas oxígeno excretando mayores cantidades de CO₂ y NH₃ (Brandon *et al.*, 2008), compuestos estos últimos, altamente peligrosos para la salud de los peces. También se pueden experimentar cambios bruscos en la temperatura del agua de transporte y en el pH, todo lo cual tendrá un directo efecto en el bienestar de los peces dentro del estanque (Southgate, 2008). Es recomendable transportar peces vivos con agua a una temperatura fría, ya que de esta forma se reduce el metabolismo, lo que disminuye la excreción de metabolitos (Lekang, 2007).

Es importante, para asegurar la calidad del agua, mantener en buenas condiciones y dentro de rangos aceptables la concentración de gases disueltos y la química del agua, ya que la degradación de la calidad del agua, tanto por reducción del oxígeno, aumentos de metabolitos o incrementos de sólidos en suspensión o sedimentables, afecta la salud de los peces, incluso pudiendo ocasionar la muerte de ellos (Krise *et al.*, 2001). Es fundamental considerar que la concentración de O₂ disuelto en el agua, parámetro fundamental para llevar a cabo todas las funciones metabólicas del pez, varía según la temperatura y salinidad (Portzet *et al.*, 2005), siendo mayor cuando la temperatura y la salinidad disminuyen.

Mantener a los peces en ayuno de dos o tres días, es beneficioso para reducir la tasa de excreción de compuestos amoniacales, (Kaushik, 2000; Lekang, 2007).

2.4 Consecuencias de parámetros del agua fuera de niveles adecuados para el transporte de peces vivos

Los distintos estresores que se originan, como consecuencia de la alteración los de los parámetros fuera de los rangos normales, durante el transporte de smolt (carga, transporte, descarga, etc.), se pueden considerar estímulos gatilladores de otro tipo de consecuencias tales como, aumento de la susceptibilidad a las enfermedades (Finstad *et*

al.,2003) o respuesta de cicatrización reducida en caso de sufrir heridas (Southgate, 2008). Una vez que el pez ha sido sometido a un estrés, el tiempo de recuperación puede durar varias horas o días y para que el smolt retome los niveles de cortisol previos al efecto del estresor, de debe esperar de uno a dos días, incluso hasta semanas (Nomura *et al.*, 2008), (Finstad *et al.*, 2003).

El efecto negativo que puede llegar a producir un nivel fuera de un rango adecuado de los principales parámetros del agua durante el traslado de smolts en camiones, se puede describir como sigue:

Exponer al pez a altas concentraciones de NH_3 , afecta la respiración, producto de la hiperplasia e hipertrofia de las branquias, disminuyendo de este modo la superficie de intercambio gaseoso. Además, se aumenta la producción de mucus, se forman lesiones en intestinos, músculos, piel, sistema circulatorio, hígado y riñones (Breton, 2005).

La excreción de amoníaco de los peces puede no ser relevante cuando el agua se encuentra a un pH bajo (menos de 7 y superior a 6), ya que la concentración del NAT pasará a ser del tipo ionizado (NH_4^+), compuesto no tóxico para los peces. Caso contrario ocurre cuando el pH, la temperatura y/o la salinidad son altos. Bajo estas condiciones, los compuestos amoniacales pasan a ser del tipo no-ionizado (NH_3) el cual es altamente tóxico para los peces (Lekang, 2007). En este caso las mortalidades pueden estar presentes cuando el aumento del nivel de amoníaco en el plasma se eleva demasiado rápido y alcanza niveles tóxicos. (Yuenet *al.*, 2010). Existen experiencias en donde la trucha Arcoíris tolera concentraciones de $0,1 \text{ mgNH}_3/\text{l}$ (Breton, 2005). Mientras Stefansson (2009) indica que se han registrado mortalidades en concentraciones entre $0,03$ y $0,3 \text{ mg NH}_3/\text{l}$. Y Timmons (2002) recomienda que las concentraciones de NH_3 para las especies de agua fría debieran mantenerse por debajo de los $0,05 \text{ mg NH}_3/\text{l}$.

Los niveles casi letales de un agua ácida para los distintos tipos de salmónidos, van desde los $4,2 - 5,0$ de pH, niveles más bajos serían letales pues la acidez del agua aumenta la permeabilidad de las branquias, causando la pérdida activa de iones de Na^+ y Cl^- . Además se acidifica la sangre del pez, alterando la excreción de CO_2 y el transporte de O_2 . Se produce la desmineralización ósea, y la función renal y la excreción de amonio se alteran (Portzet *al.*, 2005).

Respecto de la concentración de O_2 del agua en el estanque de transporte, una baja de este parámetro, puede provocar en los peces un estrés respiratorio afectando su rendimiento de nado, el equilibrio e incluso le puede provocar la muerte (Brandon *et al.*, 2008).

Niveles altos de CO₂ puede llegar a provocar hipercapnia y dificultad al respirar. Además, el CO₂ acidifica el agua, interfiriendo en el traspaso de iones por las branquias y conduce a la acidosis en la sangre (Brandon *et al.*, 2008; Portzet *et al.*, 2005).

La acumulación de CO₂ en el agua en niveles sobre los 20 mg/l puede provocar hipercapnia, el pez no puede seguir excretando Co₂ en las tasas normales, debido a la concentración del CO₂ en el medio, por lo que se acumula en la sangre disminuyendo el pH de ésta, lo cual dificulta el normal funcionamiento del transporte de O₂ (Núñez *et al.*, 2010; Goodet *et al.*, 2009). Un buen ayuno de los peces, previo al traslado, asegura un menor metabolismo y consumo de oxígeno del individuo y, por lo tanto, se tendrá una menor tasa de excreción de CO₂ (Lekang, 2007).

Fuera del rango óptimo de temperatura o cambios bruscos de ésta (shock térmico), producen tensiones (estrés) en los peces y pueden derivar en una condición letal para el animal (Portz *et al.*, 2005). Comportamientos relacionados con el estrés térmico incluyen movimientos bruscos o irregulares y saltos, con una posibilidad de colisión con la pared del tanque o con otros peces. (Portz *et al.*, 2005).

3.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Medios de transporte terrestre de peces vivos

La experiencia se desarrolló en la empresa Ventisqueros S.A. en condiciones de operación normal durante las faenas de carga de smolt de salmón Coho y trucha Arcoíris.

La empresa Jorquera S.A. presta servicio de traslado terrestre de peces vivos a Ventisqueros S.A., poniendo a disposición camiones con carro o con ramplas de acero inoxidable. Los camiones con carro constan de nueve estanques de 3 m³ cada uno (Fig. 2), los cuales son herméticamente sellados y pueden ser construidos de plástico reforzado o fibra de vidrio. En el caso de los camiones con ramplas, contienen un tambor en posición horizontal de acero inoxidable (Fig. 3). Este tambor puede ser dividido en tres estanques de 9 m³ cada uno o cuatro estanques de 6,75 m³ cada uno. Para realizar esta experiencia se utilizaron ambos tipos de camiones en forma aleatoria.



Figura N°2: Camión con carro con nueve estanques de plástico reforzado.



Figura N°3: Camión Rampla de acero inoxidable de cuatro estanques.

Todos los camiones constan con un sistema PT4, en donde el control de la inyección de oxígeno al interior de los estanques es automático y puede ser regulado manualmente desde la cabina del camión. La regulación implica ingresar al sistema saturaciones límites, tanto como para comenzar o para detener la inyección de oxígeno. Normalmente 90 y 110 %SAT O₂ respectivamente.

3.2 Logística de mediciones durante el traslado de smolt

Para evaluar la calidad del agua durante el traslado de smolt se midieron durante tres horas de traslado los siguientes parámetros del agua: oxígeno disuelto, oxígeno saturado, temperatura, amonio, amoníaco, dióxido de carbono y potencial de hidrógeno. Todos ellos en forma paralela y continua, desde un tiempo cero que es cuando ingresa el primer pez al interior del estanque del camión. Además se trabajó bajo el supuesto que en todos los traslados los peces contaban con un ayuno de, por lo menos, 48 horas antes del traslado.

Para la medición de los parámetros se utilizaron dos equipos. Uno fue el CO₂ ANALYSER (Fig.4), con el cual se registró la acumulación de CO₂ cada 30 segundos y el otro equipo que se utilizó fue el de medición multiparámetro YSI PROFESSIONAL PLUS (Fig.5), para el control de NH₃, NH₄, pH, O₂, %SAT, T° y con el cual también se registraron datos cada 30 segundos. Ambos equipos cuentan con la tecnología **Data Save**,

pudiendo, de este modo, rescatar todos los datos hacia algún ordenador luego de realizada cada experiencia de medición.



OxyGuard®

Figura 4: Equipo de medición de CO₂.



Figura 5: Equipo de medición multiparámetro.

Los smolts de salmón Coho se transportaron desde la Piscicultura Playa Maqui ubicada en Los Bajos s/n, Frutillar, Playa Maqui, Lago Llanquihue, perteneciente a la empresa Salmones Camanchaca S.A. Se logró realizar experiencias con peces que tenían un peso entre los 213 y 274 g. Para la carga en Playa Maqui se utilizaron camiones sin acoplado, con cuatro estanques de 3 m³ cada uno, de plástico reforzado y fibra de vidrio. El tiempo de carga de estos camiones fue de aproximadamente 10 a 15 minutos cada uno y exclusivamente para fines de este estudio se pudieron realizar traslados a distinta densidades de carga, las cuales fueron de 45, 50 y 60 kg/m³, con el objetivo de comparar el comportamiento de los parámetros del agua en distintas condiciones de carga.

En el caso de los smolts de trucha Arcoíris, estos se trasladaron desde la piscicultura Maitén ubicada en camino Punta Larga, Totoral Bajo s/n, perteneciente a Ventisqueros S.A., y se utilizaron ejemplares cuyo peso varió entre los 249 y 300 g. Para la carga se utilizaron camiones con carro con estanques de plástico reforzado y fibra de vidrio y también rampas de acero inoxidable de tres y cuatro estanques. El tiempo de carga de estos camiones fue de aproximadamente de 20 minutos cada uno y en esta oportunidad solo se pudieron realizar traslados a la densidad de 60 kg/m³; dadas las condiciones de operación no fue posible evaluar otras densidades de transporte.

Para efecto de análisis, se consideró como una muestra el monitoreo de tres horas y se estandarizaron las tres principales condiciones de una faena de carga de smolt: sistema de carga, calidad de los peces y densidad de traslado. En el monitoreo de la calidad del agua durante el transporte de smolt de salmón Coho, se logró recopilar un total de nueve muestras de las cuales cinco fueron trasladadas a 60 kg/m³, dos a 50 kg/m³ y otras dos a 45 kg/m³. En el traslado de smolt de Trucha Arcoíris, se lograron obtener cuatro muestras, a la densidad de 60 kg/m³.

Una vez obtenidos los datos, estos fueron ordenados en una base de datos en planilla Excel y se construyeron las siguientes curvas:

- Relación entre porcentaje de saturación de oxígeno v/s temperatura, en traslado de smolt de salmón Coho.
- Relación Oxígeno disuelto v/s temperatura, en traslado de smolt de salmón Coho.
- Baja del porcentaje de saturación de oxígeno inicial en la carga de smolt de Salmón Coho.
- Relación compuestos amoniacales v/s pH, en traslado de smolt de salmón Coho.
- Relación Acumulación del metabolito dióxido de carbono v/s pH, en traslado de smolt de salmón Coho.
- Acumulación de CO₂ a distintas densidades, en traslado de smolt de salmón Coho.
- Relación saturación de Oxígeno saturado v/s temperatura, en traslado de smolt de trucha Arcoíris.
- Relación temperatura v/s Oxígeno disuelto, en traslado de smolt de trucha Arcoíris.
- Baja de porcentaje de saturación de oxígeno inicial en la carga de smolt de Trucha Arcoíris.
- Relación compuestos amoniacales v/s pH, en traslado de smolt de trucha Arcoíris.
- Relación metabolito CO₂ v/s pH, en traslado de smolt de trucha Arcoíris.

4.- RESULTADOS

4.1 Resultados de las variaciones de la temperatura (T°), saturación de oxígeno (O₂sat%), oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrógeno (pH), amonio (NH₄), amoniaco (NH₃) y dióxido de carbono (CO₂), durante el traslado de smolt de salmón Coho y trucha Arcoíris.

Para conocer los resultados de las variaciones obtenidas de los distintos parámetros medidos durante esta experiencia se elaboraron cuatro tablas en donde se observan los máximos, mínimos y promedio de cada parámetro y según densidades de traslado y especie.

TABLA 1: VARIACIÓN DE PARÁMETROS DEL AGUA DURANTE EL TRASLADO DE SMOLT DE TRUCHA ARCOÍRIS A 60 KG/M³			
<u>Parámetro</u>	<u>Máximo</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Promedio</u>
OD	10,95	7,65	9,1
O ₂ %SAT	105	75,1	89
T°	14,6	11,7	14,4
CO ₂	37,5	1,4	25
NH ₃	0,01	0	0
NH ₄	2,5	0,15	1,65
pH	7,54	6,7	7

TABLA 2: VARIACIÓN DE PARÁMETROS DEL AGUA DURANTE EL TRASLADO DE SMOLT DE SALMÓN COHO A 60 KG/M³			
<u>Parámetro</u>	<u>Máximo</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Promedio</u>
OD	11,59	9,17	10,25
O ₂ %SAT	114,2	86,82	97,7
T°	13,5	11,3	13
CO ₂	29,5	2,75	20,08
NH ₃	0	0	0
NH ₄	1,78	0,14	1,1
pH	7,45	6,67	6,98

TABLA 3: VARIACIÓN DE PARÁMETROS DEL AGUA DURANTE EL TRASLADO DE SMOLT DE SALMÓN COHO A 50 KG/M3			
<u>Parámetro</u>	<u>Máximo</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Promedio</u>
OD	12,12	9,48	10,9
O2 %SAT	113,15	93,15	103,7
T°	14,4	11,55	12,7
CO2	29,88	3,13	20,76
NH3	0	0	0
NH4	1,5	0,15	0,9
pH	7,39	6,68	6,99

TABLA 4: VARIACIÓN DE PARÁMETROS DEL AGUA DURANTE EL TRASLADO DE SMOLT DE SALMÓN COHO A 45 KG/M3			
<u>Parámetro</u>	<u>Máximo</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Promedio</u>
OD	14,8	9,48	11,2
O2 %SAT	132,9	86,95	105
T°	14,4	11,15	12,2
CO2	29,88	2,38	18,22
NH3	0	0	0
NH4	1,5	0,15	1
pH	7,37	6,66	6,92

4.2 Elaborar y comparar curvas de comportamiento de los parámetros del agua con datos recomendados.

4.2.1 Curvas de comportamiento de parámetros abióticos del agua en el traslado de smolt de salmón Coho a 60 kg/m³

El comportamiento que experimenta el porcentaje de saturación de oxígeno versus la temperatura durante la carga de peces y durante el trayecto, se aprecia en la Figura N°6, en la que se observa un aumento de la temperatura de por lo menos dos grados centígrados en los primeros 25 minutos después de comenzada la faena de carga. En el caso del porcentaje de saturación de oxígeno se observa un comportamiento constante, alcanzándose un valor promedio de 98% de oxígeno saturado.

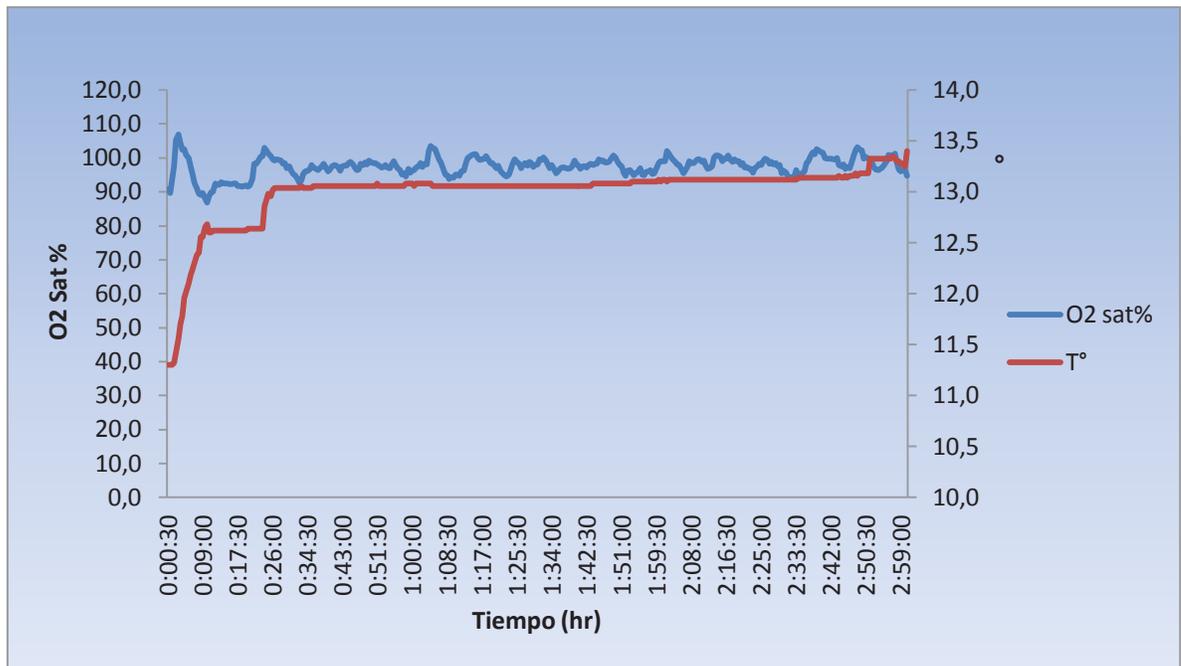


Figura N°6: Relación entre porcentaje de saturación de oxígeno v/s temperatura, en traslado de smolt de salmón Coho.

Los resultados de la relación entre el oxígeno disuelto y la temperatura presente en el agua del estanque durante el traslado de smolt, indica que el aumento de dos grados centígrados en los primeros 25 minutos de iniciada la faena influye levemente en las concentraciones de oxígeno disuelto (Fig. 7). La mayor concentración de oxígeno disuelto se obtuvo a los tres minutos de carga aproximadamente, momento en que también se presentó la mayor saturación y menor temperatura. Esta concentración fue de 11,6 mg O₂/l. Una vez que la temperatura se estabilizó en 13,1°C, aproximadamente a la media hora de carga, se registraron concentraciones de oxígeno disuelto promediando los 10,3 mg O₂/l.

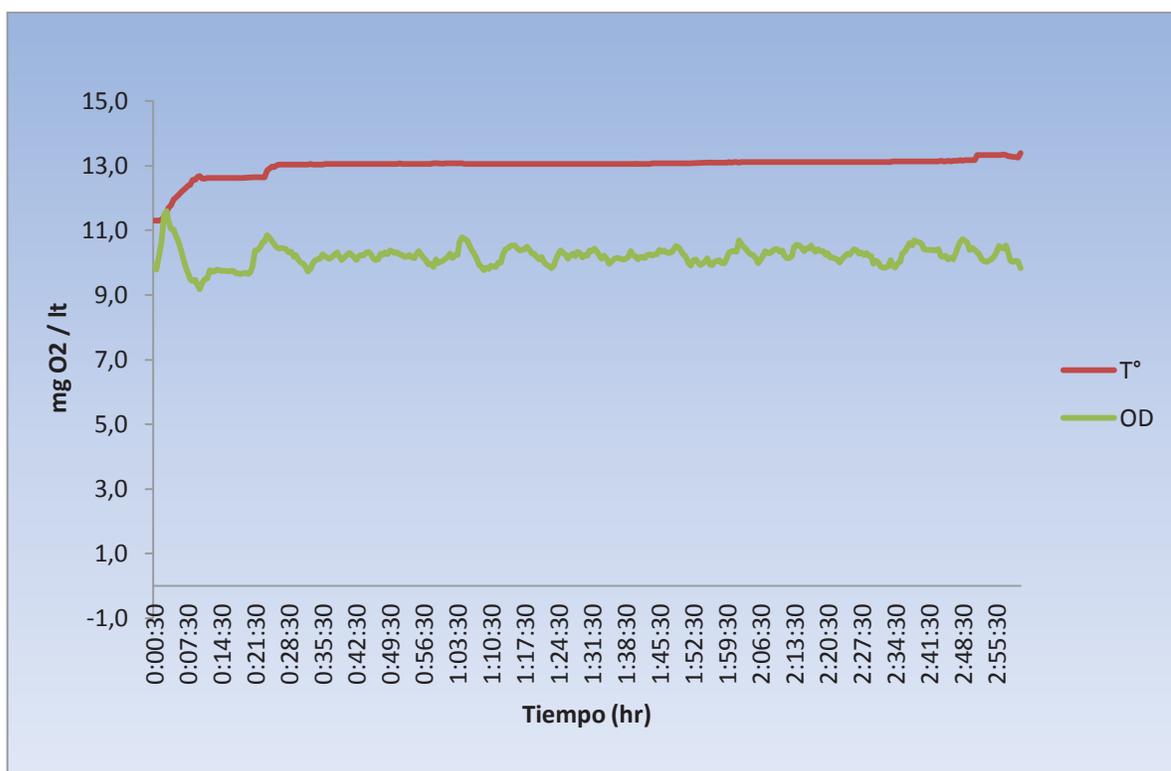


Figura N°7: Relación oxígeno disuelto v/s temperatura, en traslado de smolt de salmón Coho.

El resultado de la baja en el porcentaje de saturación de oxígeno, para las cargas de salmón Coho, por el elevado consumo de oxígeno disuelto de los peces estresados al momento de ser cargados en el estanque del camión, se representa en la figura 8, en donde se observa una baja considerable del oxígeno de 114 a 83 O₂ %sat., al poco tiempo de iniciada la carga, a los siete minutos aproximadamente.

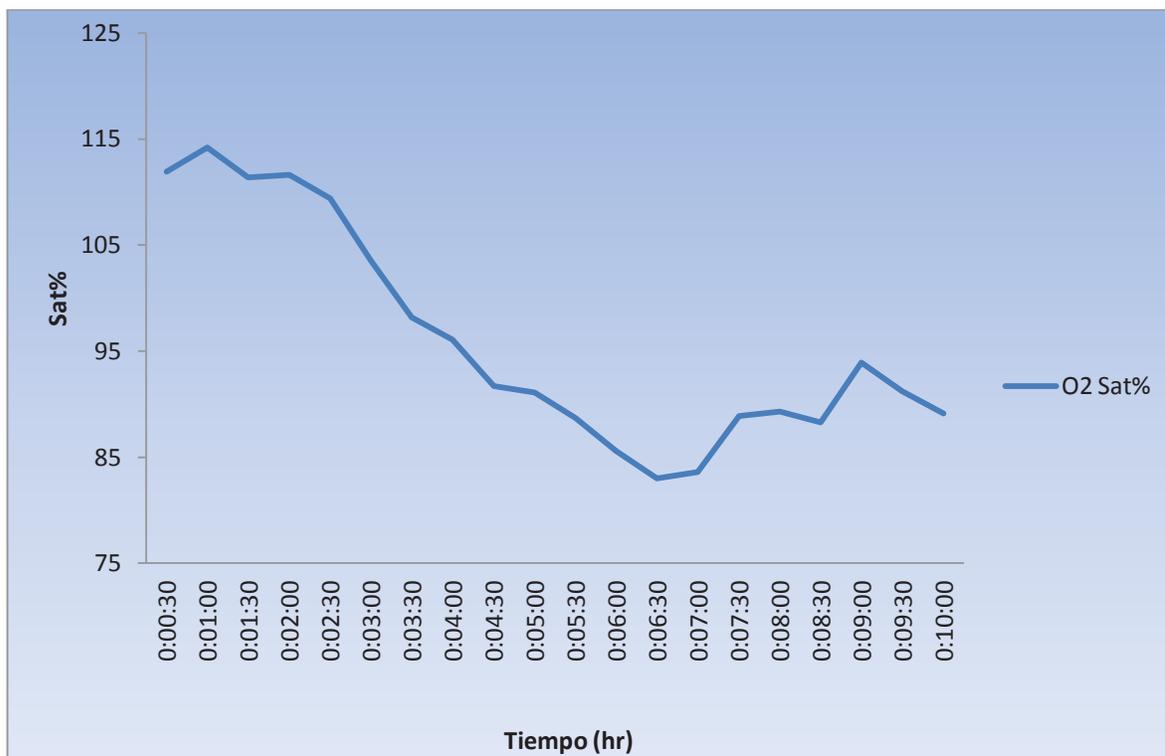


Figura N°8: Baja del porcentaje de saturación de oxígeno inicial en la carga de smolt de salmón Coho.

Durante los traslados de smolt Coho no se registraron concentraciones de NH_3 , por lo menos en dos decimales que el equipo es capaz de registrar, por lo que se entiende que el valor registrado fue 0,00 mg NH_3/l .

Los resultados de la acumulación de compuestos amoniacales en el agua en relación al pH, se puede apreciar en la figura N°9, en ella se observa un comportamiento normal en la relación inversa entre el pH del agua respecto al amonio (NH_4). En efecto a medida que la acidez del agua aumenta de un nivel inicial de 7,42 hasta 6,67 finales (niveles no dañinos para los peces), se observa una mayor concentración de NH_4 . Alcanzando concentraciones de hasta 1,7 mg NH_4/l .

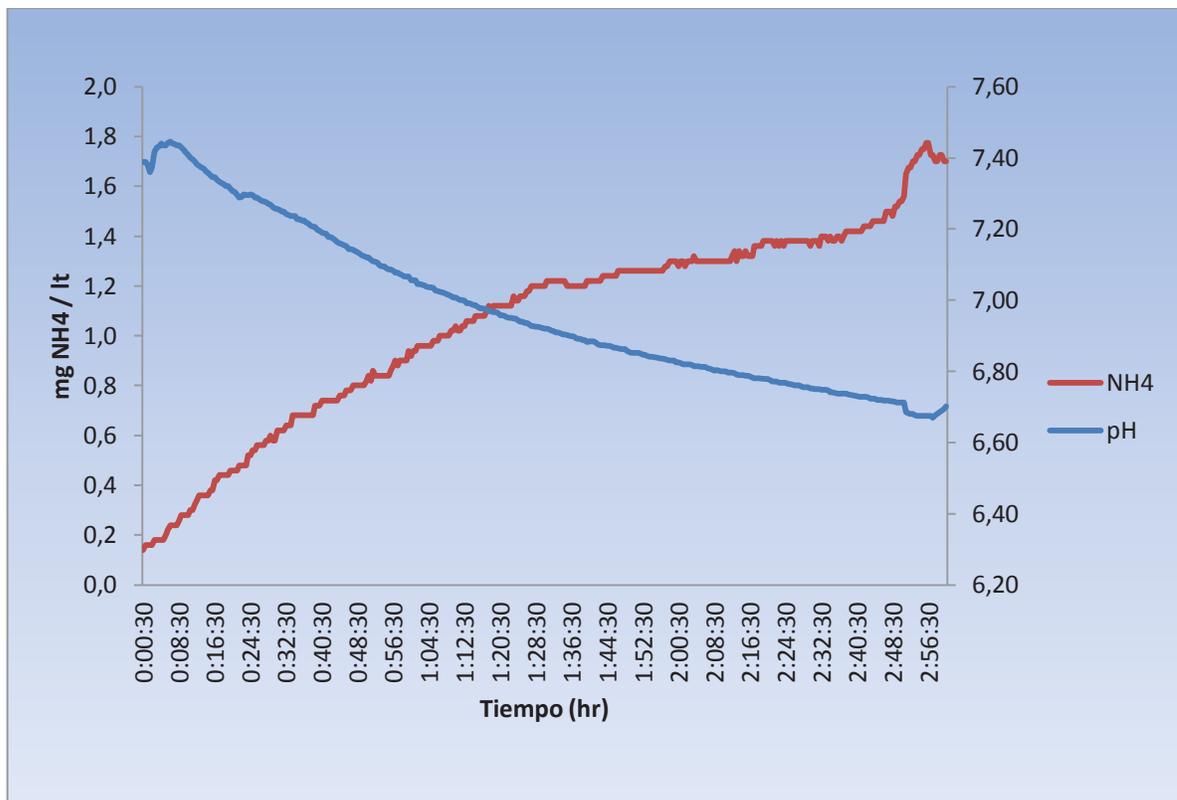


Figura N°9: Relación compuestos amoniacales v/s pH, en traslado de smolt de salmón Coho.

Los resultados del CO₂ durante los traslados de salmón Coho se aprecian en la figura N°10, en donde se observa el normal comportamiento entre la acumulación del CO₂ y la acidificación del agua. Dado que a mayor concentración de CO₂, también será mayor la presencia de ácido carbónico en el agua, disminuyendo el pH. Además, se aprecia que la concentración del CO₂ que se acumula a las tres horas de traslado, alcanzó un máximo de 29,5 mg CO₂/l. Nivel que excede lo recomendable en bibliografía (20 mg CO₂/l) (Núñez *et al.*, 2010; Goodet *et al.*, 2009).

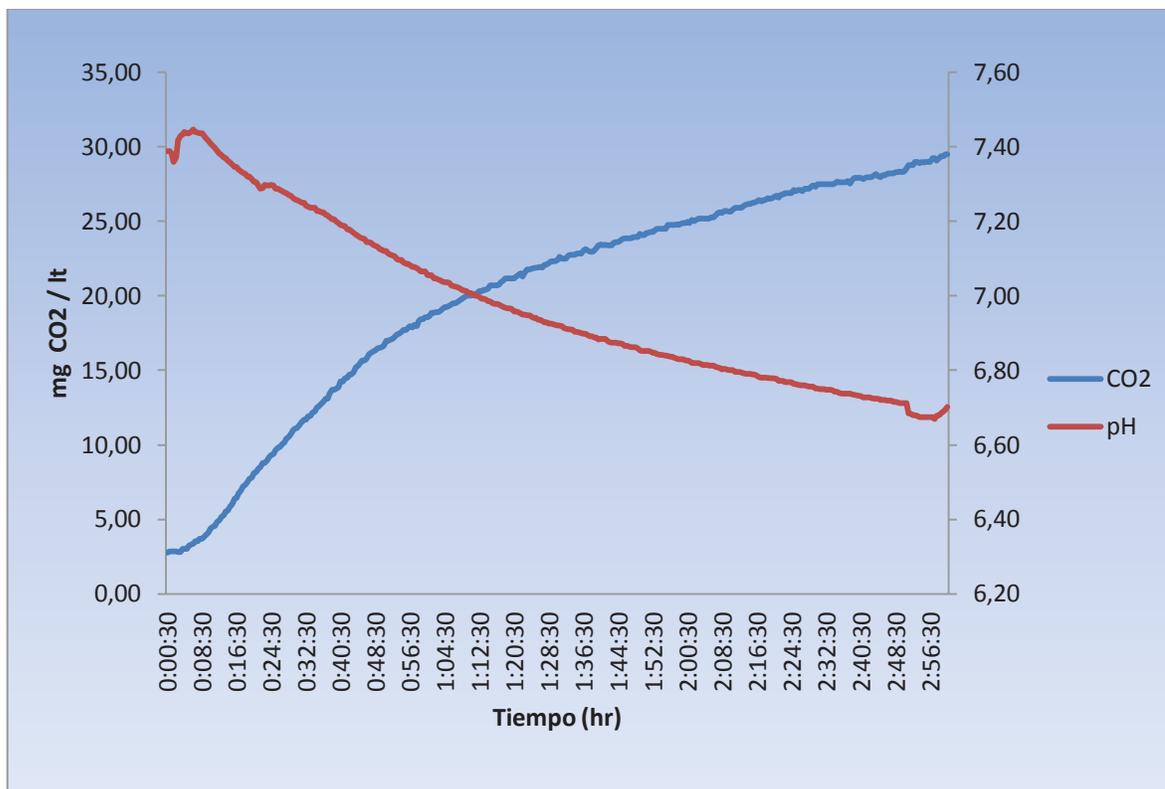


Figura N°10: Relación Acumulación del metabolito dióxido de carbono v/s pH, en traslado de smolt de salmón Coho.

4.2.2 Comparación con las distintas densidades de traslado

En función de los datos obtenidos, solo el CO₂ fue el que reflejó niveles por sobre lo recomendado por bibliografía (20 mg CO₂/l) (Núñez *et al.*, 2010; Goodet *et al.*, 2009). Por lo que, la comparación de distintas densidades se hará solo para este parámetro.

En la figura N°11 se representa el monitoreo de traslados de smolts de salmón Coho a distintas densidades. Se puede apreciar claramente que los traslados a 60 o 50 kg/m³ no tienen gran diferencia y ambas experiencias entregan niveles cercanos a los 30 mg CO₂/l, en tres horas de monitoreo. También se aprecia que al trasladar smolt a 45 kg/m³ se logra, de alguna forma, mantener niveles cercanos a los 20 mg CO₂/l, por lo menos en dos horas de traslado y no se superan los 25 mg CO₂/l en tres horas totales.

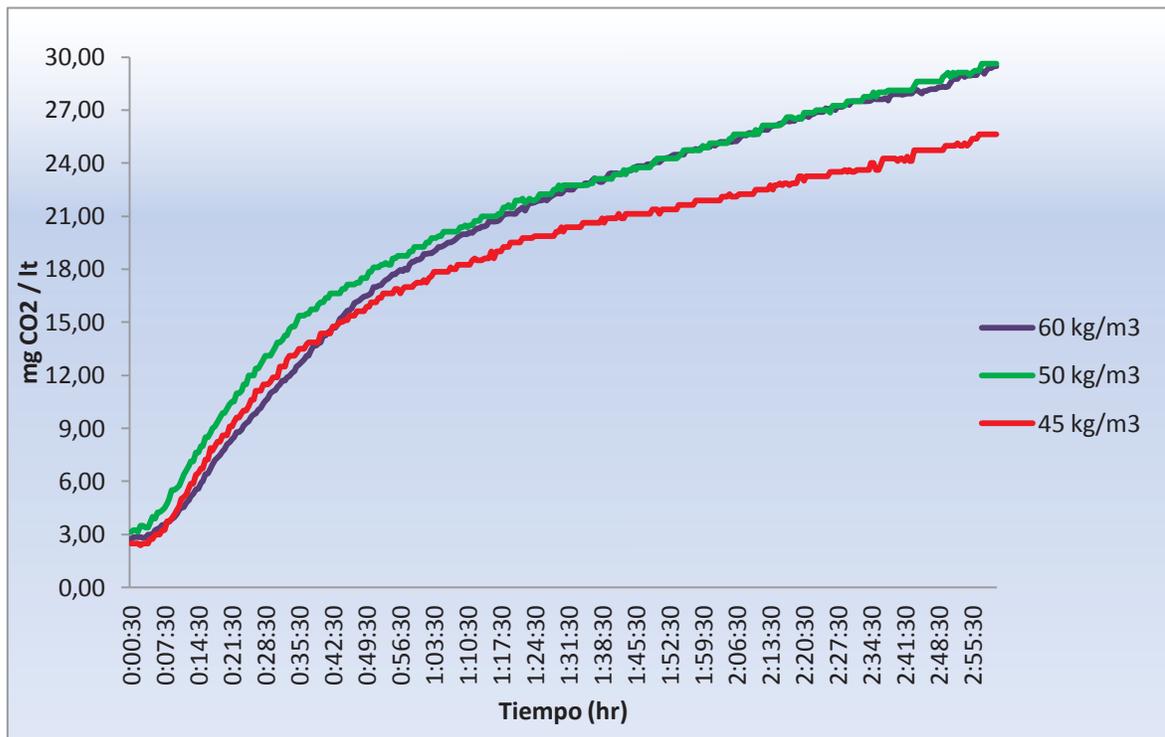


Figura N°11: Acumulación de CO₂ a distintas densidades, en traslado de smolt de salmón Coho.

4.2.3 Curvas de comportamiento de parámetros abióticos del agua en el traslado de smolt de trucha Arcoíris a 60 kg/m³

El comportamiento que experimenta el porcentaje de saturación de oxígeno versus la temperatura durante la carga de smolt de trucha Arcoíris y durante el trayecto, se aprecia en la Figura N°12, en la que se observa un aumento de la temperatura de por lo menos tres grados centígrados en los primeros 20 minutos comenzada la faena de carga. En el caso del porcentaje de saturación de oxígeno se observa un comportamiento constante, alcanzándose un valor promedio de 89% de oxígeno saturado.

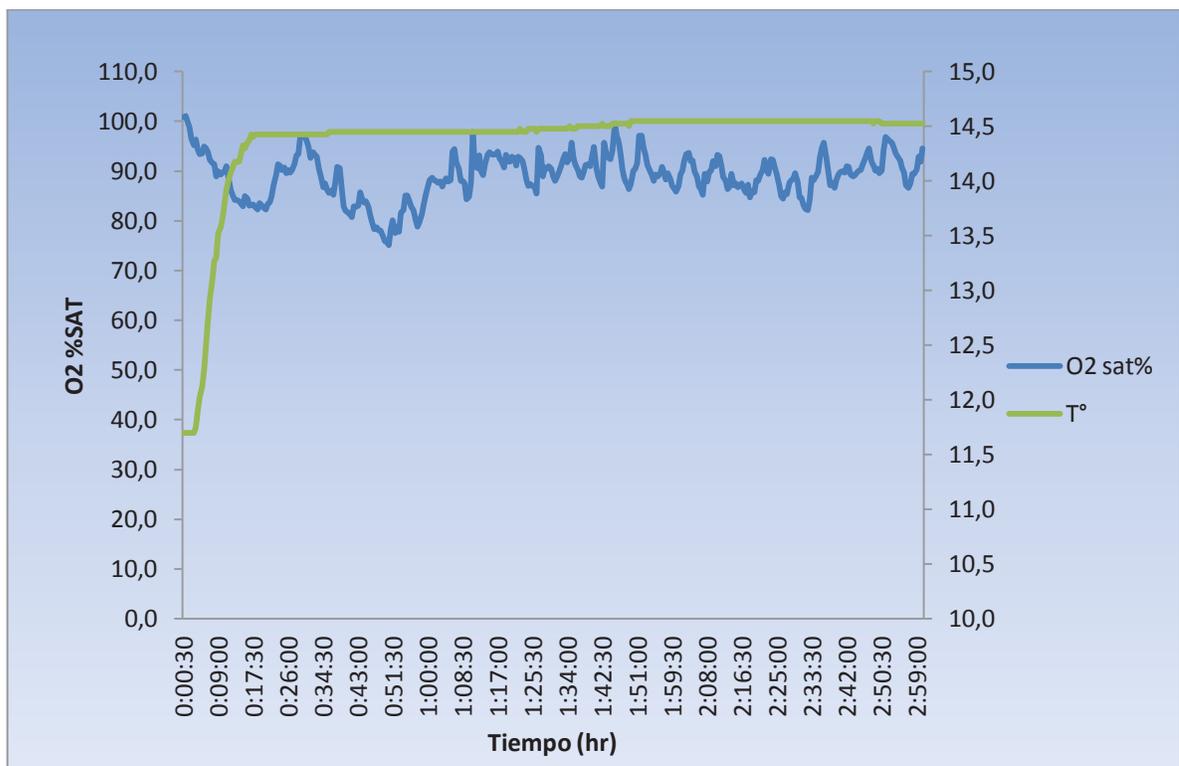


Figura N°12: Relación saturación de oxígeno saturado v/s temperatura, en traslado de smolt de trucha Arcoíris.

Los resultados de la relación entre el oxígeno disuelto y la temperatura presente en el agua del estanque durante el traslado de smolt, indica que el aumento de tres grados centígrados en los primeros 20 minutos de iniciada la faena influye levemente en las concentraciones de oxígeno disuelto (Fig. 13). La mayor concentración de oxígeno disuelto se obtuvo a los tres minutos de carga aproximadamente, momento en que también se presentó la mayor saturación y menor temperatura. Esta concentración fue de 10,9 mg O₂/l. Una vez que la temperatura se estabilizó en 14,4°C, aproximadamente en 20 min de carga, se registraron concentraciones de oxígeno disuelto promediando los 9,1 mg O₂/l.



Figura N°13: Relación temperatura v/s oxígeno disuelto, en traslado de smolt de trucha Arcoíris.

El resultado de la baja en el porcentaje de saturación de oxígeno, por el elevado consumo de este gas por los peces estresados al momento de ser cargados en el estanque, se representa en las figura 14, en donde se observa una baja considerable del oxígeno de 105 a 87%sat., al poco tiempo de iniciada la carga (5 min aproximadamente).

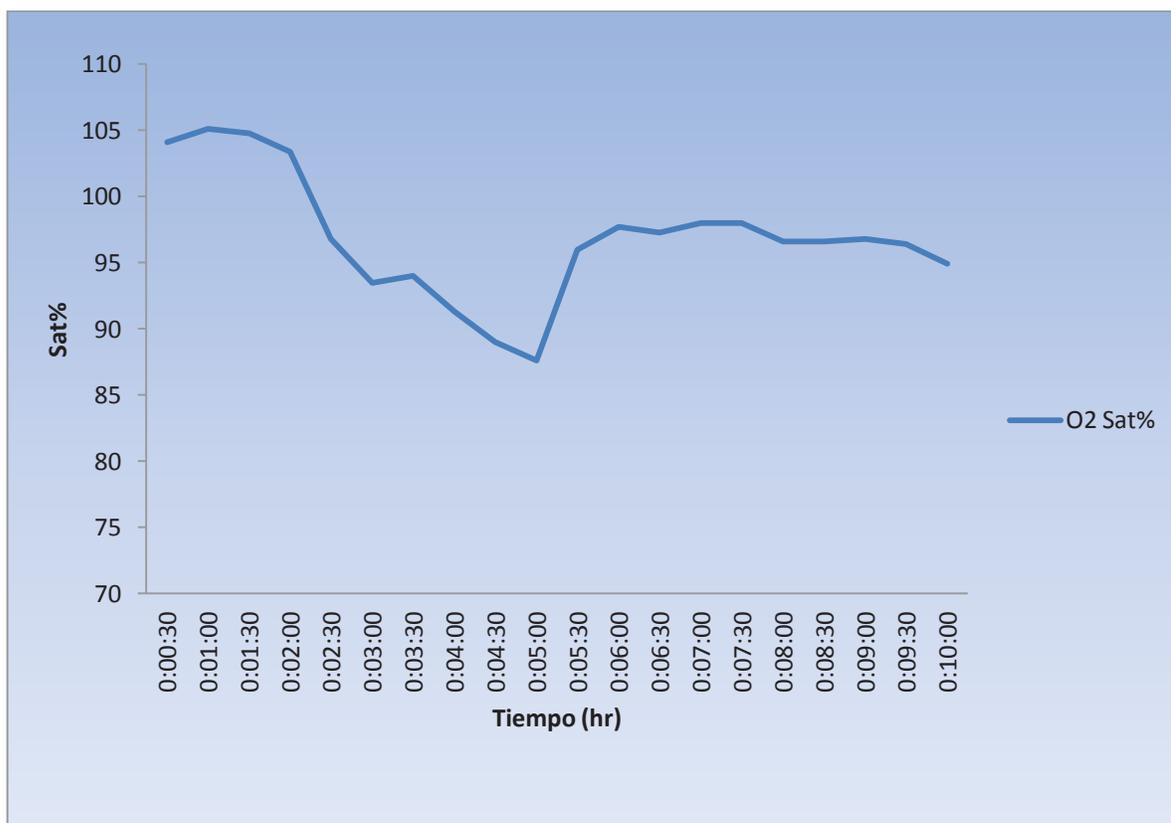


Figura N°14: Baja del porcentaje de saturación de oxígeno inicial en la carga de smolt de trucha Arcoíris.

Durante los traslados de smolt de trucha Arcoíris se registraron concentraciones de NH_3 , de 0,01 mg NH_3 /l. Cabe señalar que esta concentración no origina mortalidad y esta por debajo de los niveles letales entregados por la bibliografía

Los resultados de la acumulación de compuestos amoniacales en el agua en relación al pH, se puede apreciar en la figura N°15, en ella se observa un comportamiento normal en la relación inversa entre el pH del agua respecto al amonio (NH_4). En efecto a medida que la acidez del agua aumenta de un nivel inicial de 7,5 hasta 6,7 finales (niveles no dañinos para los peces), se observa una mayor concentración de NH_4 . Alcanzando concentraciones de hasta 2,5 mg NH_4 /l.

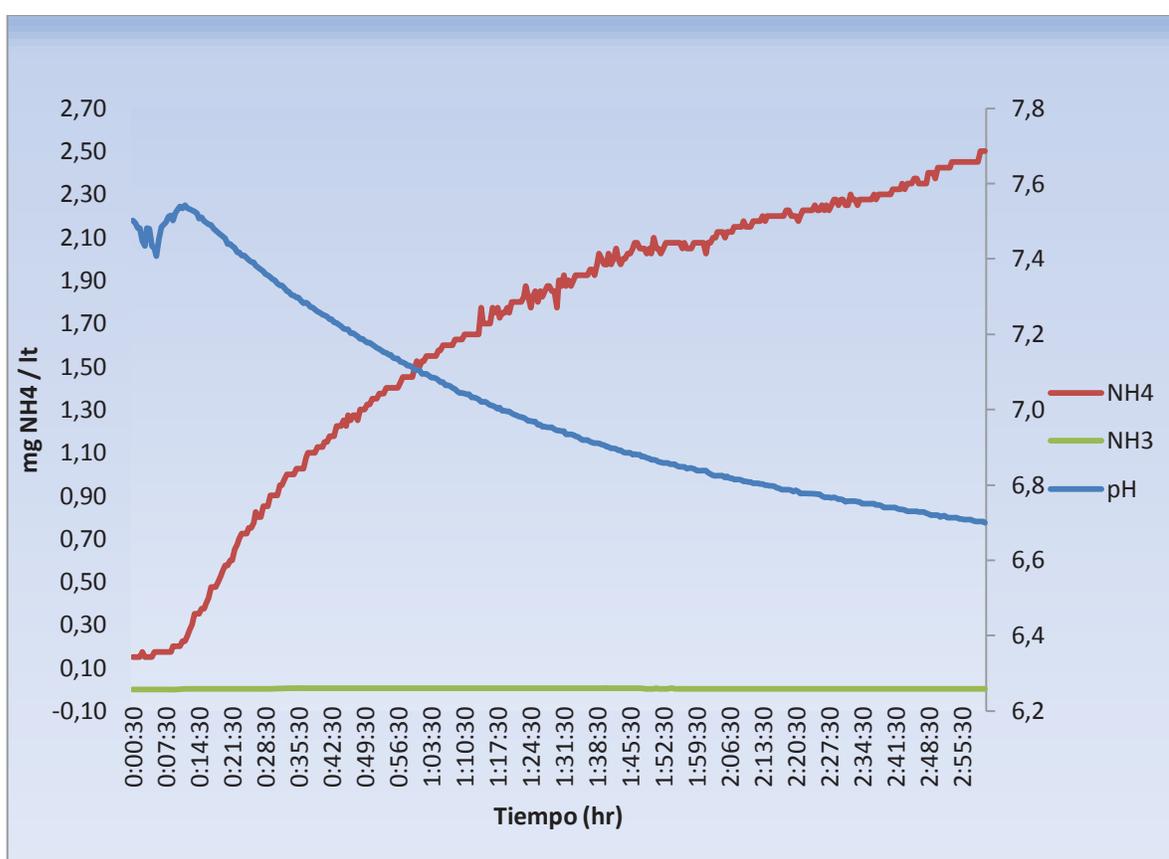


Figura N°15: Relación compuestos amoniacales v/s pH, en traslado de smolt de trucha Arcoíris.

Los resultados del metabolito CO_2 durante los traslados de trucha Arcoíris se aprecian en la figura N°16, en donde se observa el normal comportamiento entre la acumulación del metabolito CO_2 y la acidificación del agua. Dado que a mayor concentración de CO_2 , también será mayor la presencia de ácido carbónico en el agua, disminuyendo el pH. Además, se aprecia que la concentración del metabolito CO_2 que se acumula a las tres horas de traslado, alcanzó un máximo de 37,5 mg CO_2 /l. Nivel que excede lo recomendable en bibliografía (Núñez *et al.*, 2010; Goodet *et al.*, 2009).

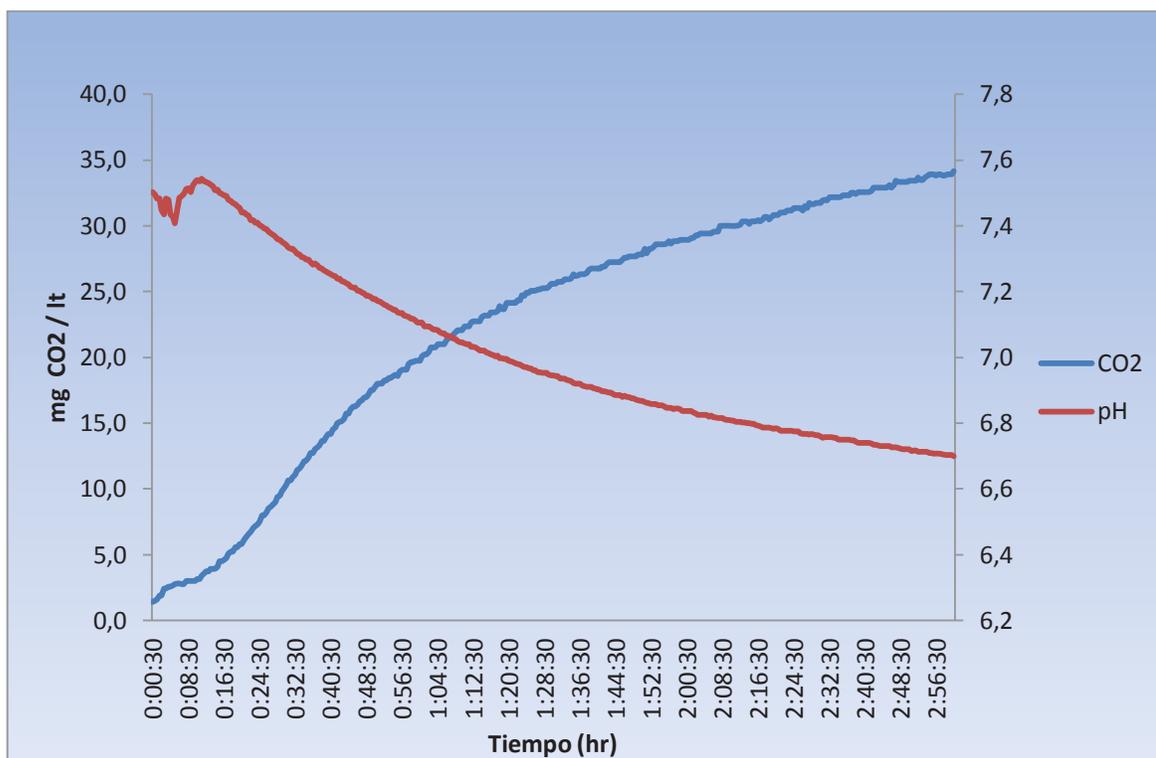


Figura N°16: Relación metabolito CO_2 v/s pH, en traslado de smolt de trucha Arcoíris.

5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

El aumento de la temperatura del agua al interior de los estanques de los camiones durante el traslado de smolt de salmón Coho y trucha Arcoíris se produce, ya que, el agua del lago Llanquihue siempre presenta mayor temperatura que el agua de pozo presente en los estanques de los camiones (las experiencias se llevaron a cabo en la estación de verano), lo cual, dado al buen sistema de inyección automático de compensación de O_2 de los camiones, se minimiza el efecto natural de la disminución de oxígeno presente por el alza de temperatura.

Las bajas del porcentaje de oxígeno saturado durante los primeros minutos de carga, (10 min aproximadamente) en ambas especies, se dan probablemente, ya que el pez se encuentra con el mayor nivel de estrés posible dentro de una faena normal de cargas de smolt, por todo lo que significa el proceso, desde el remolque de la balsa jaula del módulo hasta el muelle de carga, pasando por la succión de la bomba hasta llegar a la mesa de recepción y posteriormente viajar por ductos propios de la torre de carga hasta llegar al estanque del camión. También se le puede atribuir la disminución de oxígeno al alza de la temperatura en el agua de los estanques (en ambas experiencias). En efecto, si se presentaran alzas de temperaturas considerables, superiores a las registradas en estas experiencias, pueden ser de gran riesgo para los peces. Además de provocar graves daños por el shock térmico.

Las concentraciones de compuestos nitrogenados (NAT) no resultan amenazantes para el bienestar de peces tanto para trucha Arcoíris como para salmón Coho. Relacionado directamente a un buen manejo de los ayunos en piscicultura previos al traslado.

Respecto al comportamiento de la curva de acumulación del CO_2 al interior de los estanques de traslado durante tres horas de monitoreo, este fue normal al relacionarlo con las bajas de pH en el traslado de ambas especies. Efecto dado a la acumulación de CO_2 en el agua provocando la disminución del pH acidificando el agua.

Las tasas de excreción de CO_2 de ambas especies demuestran que los momentos de mayor excreción se centran dentro de la primera hora de carga, pero es importante observar que en el caso de la trucha Arcoíris los rangos de excreción son mayores que lo registrado en los traslados de salmón Coho. Las tasas de excreción de CO_2 , luego de que el pez se adapta al movimiento del agua, bajando el nivel de estrés y por lo tanto la excreción de CO_2 , disminuyen. Lo cual también se puede explicar por el efecto anestésico que producen los altos niveles de este metabolito en los peces, disminuyendo su metabolismo.

Uno de los objetivos principales de la experiencia de monitorear la acumulación y comportamiento de parámetros del agua durante el traslado de smolt en camiones, que se llevó a cabo, era analizar el cómo influye la densidad de traslado en la acumulación principalmente del CO₂. En la densidad de transporte que se alcanzó los niveles recomendados de CO₂ es la de 45 kg/m³, por lo menos en dos horas de traslado. Sin embargo el aspecto económico pasa a ser limitante, ya que aumentarían considerablemente la cantidad de camiones por faena de carga. Además al analizar individualmente las desviaciones estándar de las tres densidades expuestas (60, 50 y 45 kg/m³) no se observan diferencias significativamente importantes antes de las dos horas de iniciadas las cargas.

La desviación estándar respecto al oxígeno disuelto en ambas especies es preocupante, ya que en el caso del salmón Coho existen 4,2 puntos de desviación y en el caso de la Trucha Arcoíris estos son 3,02. Estos valores pueden ser muy riesgosos si se trabajara con concentraciones entre los 8 mg O₂/l, ya que según esta desviación podríamos obtener en algún momento alguna concentración cercana a 4 mg O₂/l, muy peligrosa para la salud de los peces.

La gran variación de los datos registrada en los gráficos de O₂sat% y OD para ambas especies, se da, ya que es difícil que todos los camiones lleguen con las mismas concentraciones de O₂ al momento de la carga y se debe sumar a esto, el nivel de estrés con el cual pueden ingresar los peces al estanque. Cabe señalar que dentro de las faenas de carga de peces vivos se está expuesto a una gran cantidad de agentes estresores a cada momento, lo que lo hace un sistema muy dinámico, con muchas variables y por lo tanto, es muy complejo el poder controlar todo lo que involucra el transporte de peces vivos en camiones.

6.- CONCLUSIONES

Las variaciones de los parámetros de la calidad del agua durante la experiencia de los traslados a distintas densidades con salmónes Coho, muestran un comportamiento similar en la gran mayoría de ellos, excepto en el CO₂, en donde se observa que a 60 y 50 kg/m³ es muy parecido su comportamiento. Pero, al momento compararlo con la experiencia a 45 kg/m³, esta última entrega menores concentraciones a partir de la primera hora traslado.

Las alzas de temperatura de dos o tres grados centígrados en el agua de los estanques de traslado, no tienen un efecto significativo en la cantidad de oxígeno disponible para la respiración de los peces, dado el buen funcionamiento de los equipos de inyección de O₂ automáticos que portan actualmente los camiones.

Al inicio de las cargas de smolt se presentan bajas en la saturación de oxígeno, entre los 20 a 30 O₂ SAT%, lo que puede llevar a concentraciones de riesgo para los peces.

De todos los parámetros monitoreados durante los traslados tanto de smolt de salmón Coho como de trucha Arcoíris, se puede concluir que el que puede presentar mayor riesgo, si no se tiene un control apropiado, para el bienestar de los peces, es el CO₂.

7.- RECOMENDACIONES

Dado los registros obtenidos en las bajas de saturación de oxígeno al principio de la carga de peces (en ambas especies) y considerando que se desea mantener dicha saturación sobre el 90 o 100 O₂sat%, es necesario exigir a los camiones una saturación inicial entre 130 y 120 O₂sat%.

Es recomendable realizar cambios de agua, como máximo, cada 2 horas después de comenzada la carga para mantener las concentraciones de CO₂ en niveles adecuados y no permitir la acumulación hasta niveles letales.

8.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atland, A. 2009. Sustentabilidad medioambiental y bienestar en la producción de smolt de salmón. En: Atland A.&B.Vilhelm (eds.). Calidad de agua para el cultivo de smolt en Chile Editorial Niva, Chile, pp.113-123Cap.6.
- Berka, R. 1986. The transport of live fish a review.FAO,Checoslovaquia, pp.79.
- Brandon,W.J. &A.S. Zachary. 2008. Effects of Fish Density on Water Quality in the New Haul-out Bucket and Fish-haul Trucks at the Tracy Fish Collection Facility. TF FIP Research Proposals, EEUU, pp.144-151.
- Branson, E. 2008.Fish Welfare. Blackwell Publishing Ltd, ReinoUnido, pp. 299.
- Breton, B. 2005. La Truiteet son élevage. Techniques et Documentation, Francia, pp.78.
- Cabezas, M. 2007. Los nuevos desafíos de la smoltificación. Salmociencia,Chile, pp. 11.
- Finstad, B., M. Iversen & R. Sandodden. 2003. Stress-reducing methods for releases of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts in Norway. Aquaculture 222 (2003), Noruega, pp.203-214.
- Gatica,M.C., G.E. Montib, T.G. Knowlesc, P.D. Warrissc& C.B. Gallod. 2010. Effects of commercial live transportation and preslaughter handling of Atlantic salmon on blood constituents. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, Grecia, pp. 73-78. Vol. 42.
- Good C., J. Davidson, C. Welsh, K. Snekvik& S. Summerfelt. 2009. The effects of carbon dioxide on performance and histopathology of rainbow trout(*Oncorhynchus mykiss*) in water recirculation aquaculture systems. AquaculturalEngineering, EEUU, pp. 51-56. Vol. 42.

- Kaushik, S. J., 2000. Factores que afectan la excreción nitrogenada en teleósteos y crustáceos. En: Civera-Cerecedo, R., C.J. Pérez-Estrada, M. Ricque & L.E. Cruz-Suárez (Eds.). Avances en Nutrición Acuícola IV Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, La Paz, B.C.S., México, pp. 237-250.
- Krise, B. & G. Wedemeyer. 2001. Stress and Physiology. NCTC-CWFC. pp. 39.
- Kubilay, A. & G. Ulukoy. 2001. The Effects of Acute Stress on Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). Tübitak, Turkia, pp. 249-254.
- Lekang, O. 2007. Aquaculture Engineering. Blackwell Publishing Ltd, Noruega, pp. 340.
- Nomura, M., K.A. Sloman, M.A.G. Von Keyserlingk & A.P. Farrell. 2008. Physiology and behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts during commercial land and sea transport. *Physiology & Behavior* 96 (2009), Canadá pp. 233-243.
- Núñez, P. & G. Somoza. 2010. Guía de Buenas Prácticas de Producción Acuícola para Trucha Arcoíris. Adeneu, Argentina, pp. 65.
- Portz, D.E., C.M. Woodley, J.J. Cech & C.R. Liston. 2005. Effects of Short-Term Holding on Fishes: A Synthesis and Review . Universidad de California, EEUU, pp. 85.
- Rosten, T. 2009. Transporte de peces vivos.. En: Atland A. & B. Vilhelm (eds.). Calidad de agua para el cultivo de smolt en Chile Editorial Niva, Chile, pp.107-112 Cap.5.
- Skjelkvale, B. & A. Atland. 2009. Química del Agua. En: Atland A. & B. Vilhelm (eds.). Calidad de agua para el cultivo de smolt en Chile Editorial Niva, Chile, pp.11-38. Cap.1.
- Southgate, P.J. 2008. Welfare of fish during transport. En: Branson E. (ed.). Fish Welfare. Blackwell Publishing Ltd., Reino Unido, pp.185-194. Cap.11.
- Stefansson, S. 2009. Propiedades fisiológicas en ovas, alevines y smolt. En: Atland A. & B. Vilhelm (eds.). Calidad de agua para el cultivo de smolt en Chile Editorial Niva, Chile, 39-70 pp. Cap.2.

Tang, S., C.J. Brauner, A.P. Farrell. 2009. Using bulk oxygen uptake to assess the welfare of adult Atlantic salmon, *Salmosalar*, during commercial live-haul transport. *Aquaculture* 286, Canadá, pp.318-323.

Timmons, M., J. Ebeling, F. Wheaton, S. Summerfelt.& B. Vinci.2002. Sistemas de recirculación para la acuicultura. Editorial Fundación Chile, Chile, pp.748. Vol. 29.

Yuen K. & C.F. Shif. 2010. Ammonia production, excretion, toxicity, and defense in fish: a review. *Frontiers in Physiology*, Singapur, pp. 20. Vol. 1.Artículo 134.