

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS****ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

EFECTO DE LA TEMPERATURA Y EL TIPO DE BENEFICIO EN LA
CONCENTRACIÓN DE SODIO Y POTASIO DEL GLOBO OCULAR, TEXTURA
DEL MUSCULO E ÍNDICE DE RIGOR DE LA TRUCHA (*Oncorhynchus mykiss*)

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. OLI MORALES SACACA

Bach. VICTOR HUGO SALAS AZA

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PUNO PERU
2011

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

**EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y EL TIPO DE BENEFICIO EN LA
CONCENTRACIÓN DE SODIO Y POTASIO DEL GLOBO OCULAR, TEXTURA
DEL MÚSCULO E ÍNDICE DE RIGOR DE LA TRUCHA (*Oncorhynchus mykiss*)**

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. OLI MORALES SACACA
Bach. VICTOR HUGO SALAS AZA

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

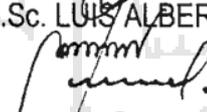
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

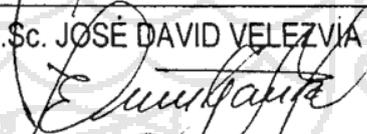
PRESIDENTE :


ing. M.Sc. LUIS ALBERTO JIMENEZ MONRROY

PRIMER MIEMBRO :


Ing. M.Sc. JOSÉ DAVID VELEZVIA DIAZ

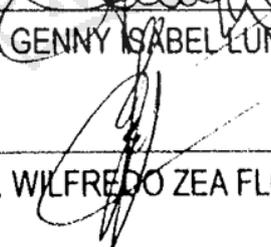
SEGUNDO MIEMBRO :


Ing. M.Sc. EDGAR GALLEGOS ROJAS

DIRECTOR DE TESIS :


Ing. M.Sc. GENNY ISABEL LUNA MERCADO

ASESOR DE TESIS :


Ing. M.Sc. WILFREDO ZEA FLORES

PUNO

PERU

2011

Área: Ingeniería y tecnología

Tema: Propiedades físicas y estructurales

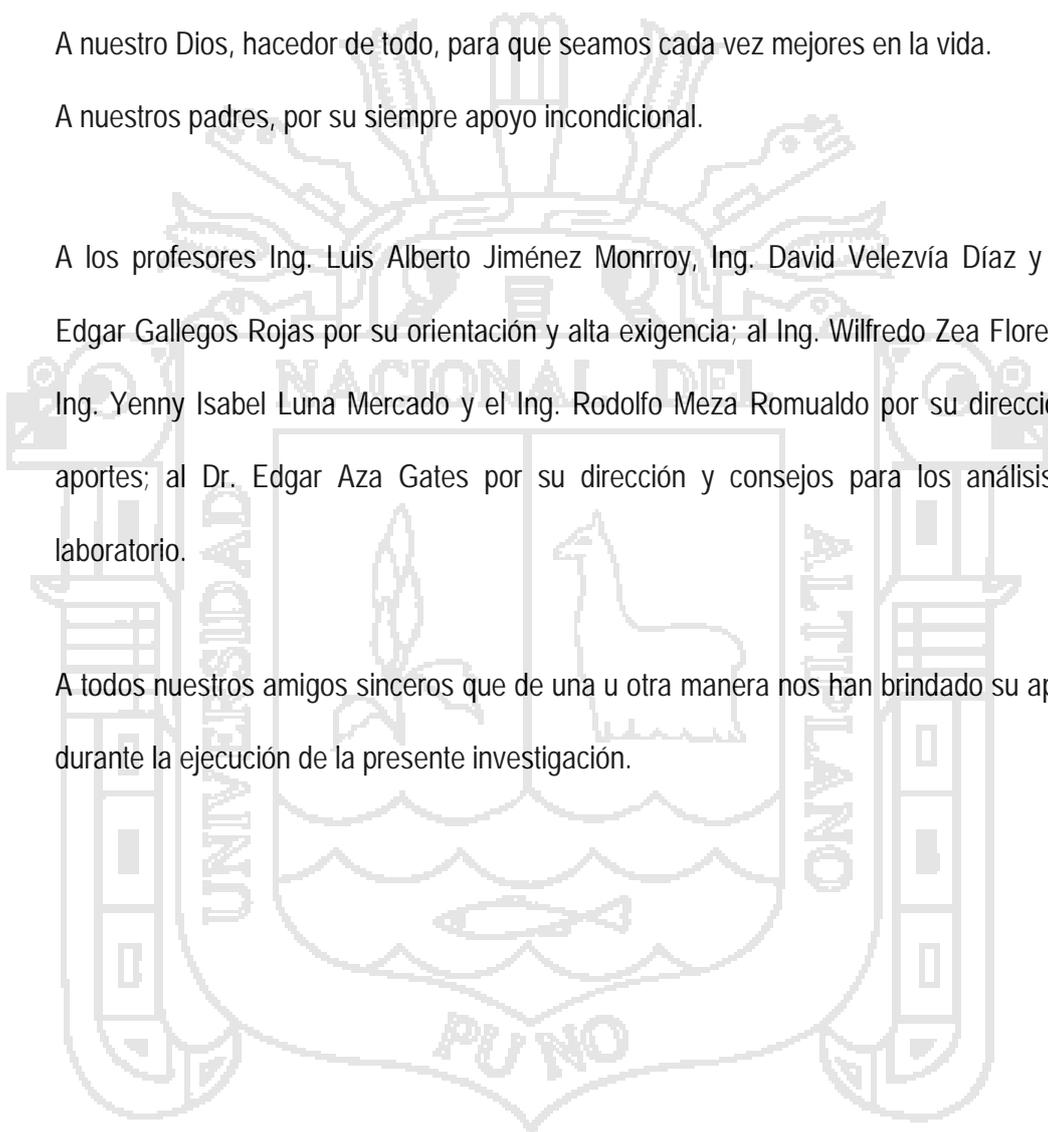
AGRADECIMIENTOS

A nuestro Dios, hacedor de todo, para que seamos cada vez mejores en la vida.

A nuestros padres, por su siempre apoyo incondicional.

A los profesores Ing. Luis Alberto Jiménez Monrroy, Ing. David Velezvía Díaz y Ing. Edgar Gallegos Rojas por su orientación y alta exigencia; al Ing. Wilfredo Zea Flores, la Ing. Yenny Isabel Luna Mercado y el Ing. Rodolfo Meza Romualdo por su dirección y aportes; al Dr. Edgar Aza Gates por su dirección y consejos para los análisis de laboratorio.

A todos nuestros amigos sinceros que de una u otra manera nos han brindado su apoyo durante la ejecución de la presente investigación.



DEDICATORIA

*A mi madre,
por ser la fuente de fuerza y
perseverancia.
OLI*

*A mis padres y mis hijos,
dos generaciones distintas,
una por ser inculcadora de valores y
la otra fuente de motivación y
alegría.*

VICTOR



ÍNDICE

	Pág.
Índice General	
Índice de Figuras	
Índice de Tablas	
Índice de Gráficos	
Índice de Anexos	
Resumen	
I. INTRODUCCIÓN	01
II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	03
2.1. TRUCHA (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	03
2.2. TAXONOMÍA	03
2.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA	04
2.3.1. ELECTROLITOS	04
2.3.1.1. SODIO	04
2.3.1.2. POTASIO	05
2.3.1.3. POTASIO Y SODIO COMO INDICADORES DEL TIEMPO POSTMORTEM.	05
2.4. ESTRUCTURA DE LA MUSCULATURA	06
2.5. EL OJO DE LA TRUCHA	06
2.6. BENEFICIO DEL PESCADO	08
2.7. CAMBIOS <i>POST MORTEM</i>	09
2.7.1. CAMBIOS SENSORIALES	09
2.7.1.1. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EN EL MÚSCULO POST MORTEM	10
2.7.1.2. RIGIDEZ CADAVÉRICA.....	12
2.7.1.3. RESOLUCIÓN DEL RIGOR MORTIS	13
2.7.1.4. MEDICION DE LA RIGIDEZ CADAVÉRICA.	13
2.7.2. CAMBIOS AUTOLITICOS	14
2.7.2.1. CAMBIOS AUTOLÍTICOS QUE INVOLUCRAN ENZIMAS PROTEOLÍTICAS	14
2.7.3. CAMBIOS BACTERIOLÓGICOS.....	15
2.8. CONSERVACIÓN DEL PESCADO	16
2.8.1. CONSERVACIÓN POR HIELO	16
2.8.2. GRADO DE MOLIENDA DEL HIELO	17
2.8.3. VOLUMEN ESPECÍFICO DEL HIELO Y DE LA MEZCLA PESCADO-HIELO..	17

2.8.4.	FACTORES DEL INTERCAMBIO TÉRMICO EN LA REFRIGERACIÓN DEL PESCADO CON HIELO	18
2.8.5.	CANTIDAD DE HIELO NECESARIO	19
2.8.6.	CALOR ESPECÍFICO.....	21
2.8.7.	TEMPERATURA INICIAL DEL PESCADO	21
2.9.	CALIDAD	22
2.9.1.	CALIDAD HIGIÉNICA.....	22
2.9.2.	CALIDAD NUTRICIONAL	22
2.9.3.	CALIDAD ORGANOLÉPTICA.....	22
2.9.4.	CALIDAD TECNOLÓGICA.....	23
2.10.	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PESCADO	23
2.10.1.	MÉTODOS SENSORIALES	23
2.10.2.	MÉTODOS MICROBIOLÓGICOS.....	24
2.10.3.	MÉTODOS FÍSICOS.....	25
2.11.	TEXTURA	25
2.11.1.	SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA TEXTURA	27
2.12.	ESPECTROFOTOMETRÍA.....	27
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1.	MATERIALES, INSTRUMENTOS Y EQUIPOS	29
3.2.	LUGAR DE EJECUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	30
3.3.	MUESTRAS Y MUESTREO	30
3.4.	METODOLOGÍA ANALÍTICA	31
3.2.1.	ANÁLISIS PROXIMAL DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES	30
A.	Determinación de humedad	31
B.	Determinación de proteína total	31
C.	Determinación de grasa	32
D.	Determinación de cenizas	32
3.2.2.	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RIGOR	33
3.2.3.	MEDICIÓN DE LA TEXTURA	34
3.2.4.	MEDICIÓN DE LOS ELECTROLITOS	35
3.2.4.1.	DETERMINACIÓN DE POTASIO/MÉTODO TPB-Na	35
3.2.4.1.	DETERMINACIÓN DE SODIO/MÉTODO Mg-URANILACETATO	37
3.5.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	39
3.3.1	DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	39

a) MATERIA PRIMA	39
b) BENEFICIO	40
c) CONSERVACIÓN.....	40
d) ALMACENAMIENTO.....	40
e) CONTROL Y MEDICIÓN.....	41
3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.	41
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.	45
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.	45
4.1.1. ANÁLISIS PROXIMAL DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES.	45
4.2. CONTENIDO ELECTROLITICO DE POTASIO.	46
4.2.1. POTASIO EN FUNCION AL TIPO DE BENEFICIO.	46
4.2.2. POTASIO EN LOS PESCADOS BENEFICIADOS POR AGOTAMIENTO EN FUNCION AL HIELO Y TIEMPO.	46
4.2.3. POTASIO EN LOS PESCADOS BENEFICIADOS POR ELECTROSHOCK EN FUNCION AL HIELO Y TIEMPO.	51
4.3. CONTENIDO ELECTROLÍTICO DE SODIO EN FUNCION AL TIPO DE BENEFICIO, HIELO Y TIEMPO.	55
4.4. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES DE LAS TRUCHAS.	58
4.4.1. PENETRACION EN FUNCION AL TIPO DE BENEFICIO.	58
4.4.2. PENETRACIÓN EN LAS TRUCHAS BENEFICIADAS POR AGOTAMIENTO EN FUNCION AL HIELO Y TIEMPO.	59
4.4.3. PENETRACIÓN EN LAS TRUCHAS BENEFICIADAS POR ELECTROSHOCK EN FUNCION AL HIELO Y TIEMPO.	63
4.5. INDICE DE RIGOR DE LA TRUCHA.	67
4.5.1. INDICE DE RIGOR EN FUNCION AL TIPO DE BENEFICIO.	67
4.5.2. INDICE DE RIGOR EN TRUCHAS BENEFICIADAS POR AGOTAMIENTO EN FUNCION AL HIELO Y TIEMPO.	68
4.5.3. ÍNDICE DE RIGOR EN TRUCHAS BENEFICIADAS POR ELECTROSHOCK EN FUNCION AL HIELO Y TIEMPO.	70
V. CONCLUSIONES	73
VI. RECOMENDACIONES	74
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	75
ANEXOS.	80

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01. Diagrama de representación del ojo de la trucha (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).	07
Figura 02. Descomposición aeróbica y anaeróbica del glucógeno en el músculo del pescado	11
Figura 03. Esquema del procedimiento de medición del índice de rigor.	34
Figura 04. Diagrama de la localización de las medidas de firmeza realizadas en la trucha (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).	35
Figura 05. Flujo de la metodología experimental.	39
Figura 06. Acondicionamiento de los pescados en las cajas de plástico de acuerdo a los tratamientos experimentados.	40



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01. Composición química proximal de la trucha de parte comestible cruda, según distintos autores.	04
Tabla 02. Tamaño relativo del ojo y cristalino en truchas arco iris de peso promedio de 264,79 g y una la longitud total promedio de 27,94 cm +/- 1,74.	08
Tabla 03. Características físicas del hielo utilizado para enfriar pescado. Adaptado de Myers (1981).	18
Tabla 04. Polinomios ortogonales.	44
Tabla 05. Composición porcentual química proximal de la trucha Arco Iris (<i>Orconhynchus mykiss</i>) entera.	45
Tabla 06. Prueba de Duncan para el tipo de beneficio con las mediciones de Potasio (mmol/l).	47
Tabla 07. Prueba de Duncan para las proporciones de hielo (peso de hielo/peso de truchas) en truchas beneficiadas por agotamiento con las mediciones de potasio (mmol/l).	48
Tabla 08. Prueba de Duncan para el tiempo en truchas beneficiadas por agotamiento con las mediciones de potasio (mmol/l).	49
Tabla 09. Prueba de Duncan para las proporciones de hielo (peso de hielo/peso de truchas) en truchas beneficiadas por electroshock con las mediciones de potasio (mmol/l).	53
Tabla 10. Prueba de Duncan para el tiempo en truchas beneficiadas por electroshock con las mediciones de potasio (mmol/l).	53
Tabla 11. Prueba de Duncan para el tipo de beneficio con las mediciones de Penetración (dmm).	59

Tabla 12.	Prueba de Duncan para el tiempo con las mediciones de penetrometría (dmm).	61
Tabla 13.	Prueba de Duncan para la proporciones de hielo en truchas beneficiadas por electroshock con los datos de las mediciones de penetración (dmm).	64
Tabla 14.	Prueba de Duncan para el tiempo en truchas beneficiadas por electroshock con los datos de mediciones de penetración.	64
Tabla 15.	Prueba de Duncan para el tipo de beneficio con las mediciones de Índice de Rigor.	67
Tabla 16.	Prueba de Duncan para las proporciones de hielo (0/1, 0.5/1 y 1/1) con los resultados del índice de rigor, en truchas beneficiadas por agotamiento.	69
Tabla 17.	Prueba de Duncan para las proporciones de hielo (0/1, 0.5/1 y 1/1) con los resultados del índice de rigor, en truchas beneficiadas por electroshock.	71

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 01. Concentración de Potasio en el humor vítreo de truchas beneficiadas por agotamiento almacenadas en tres proporciones de hielo.	47
Gráfico 02. Concentración de potasio en el humor vítreo, a partir del modelo encontrado para truchas beneficiadas por agotamiento y almacenadas a tres proporciones de hielo.	51
Gráfico 03. Concentración de Potasio en el globo ocular de truchas beneficiadas por electroshock y almacenadas a tres proporciones de hielo.	52
Gráfico 04. Concentración de potasio en el humor vítreo, a partir del modelo encontrado para truchas beneficiadas por electroshock y almacenadas a tres proporciones de hielo.	55
Gráfico 05. Concentración de sodio del humor vítreo en función al tiempo y hielo determinados en truchas beneficiadas por Agotamiento en diagrama de dispersión.	56
Gráfico 06. Concentración de sodio del humor vítreo en función al tiempo y hielo determinados en truchas beneficiadas por Electroshock en diagrama de dispersión.	57
Gráfico 07. Mediciones de penetración (dmm) de la región caudal de truchas beneficiadas por agotamiento en función al tiempo y aplicación de hielo.	60
Gráfico 08. Distancia de penetración (dmm) en la zona caudal, a partir del modelo encontrado para truchas beneficiadas por agotamiento.	62
Gráfico 09. Mediciones de penetración (dmm) de la región caudal de truchas beneficiadas por electroshock en función al tiempo y aplicación de hielo.	63
Gráfico 10. Distancia de penetración (dmm) en la zona caudal, a partir del modelo encontrado para truchas beneficiadas por electroshock.	66
Gráfico 11. Curvas a partir de los resultados promediados de las mediciones de Índice de rigor de truchas beneficiadas por Agotamiento.	68
Gráfico 12. Curvas a partir de los resultados promediados de las mediciones de Índice de rigor de truchas beneficiadas por electroshock.	70

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 01: Resultados de la determinación del potasio.	81
ANEXO 02: Resultados de la determinación de sodio.	82
ANEXO 03: Resultados de la determinación de penetración.	83
ANEXO 04: Resultados de la determinación del índice de rigor.	84
ANEXO 05: Análisis de varianza de las mediciones de potasio.	86
ANEXO 06: Análisis de varianza de las mediciones de sodio.	86
ANEXO 07: Análisis de varianza de las mediciones de penetración.	87
ANEXO 08: Análisis de varianza de las mediciones de índice de rigor.	87
ANEXO 09: Análisis de varianza considerando los efectos lineal, cuadrático y residual del potasio en pescados beneficiados por agotamiento.	88
ANEXO 10: Análisis de varianza considerando los efectos lineal, cuadrático y residual del potasio en pescados beneficiados por electroshock.	89
ANEXO 11: Análisis de varianza considerando los efectos lineal, cuadrático y residual de penetración en pescados beneficiados por agotamiento.	90
ANEXO 12: Análisis de varianza considerando los efectos lineal, cuadrático y residual de penetración en pescados beneficiados por electroshock.	91
ANEXO 13: Calor específico de las unidades experimentales.	92
ANEXO 14: Cantidad de hielo necesario.	92
ANEXO 15: Calculo de hielo utilizado.	92
ANEXO 16: Panel fotográfico	93

RESUMEN

Los requerimientos de calidad para la transformación y comercialización de productos pesqueros han estimulado esta investigación de evaluar y determinar que indicador tiene mayor correlación con el manejo *post mortem* de los pescados. Así se evaluó los cambios de la concentración electrolítica de sodio y potasio del humor vítreo en truchas Arco Íris, planteados como nuevos indicadores de control de calidad tecnológica, Además se evaluó las características de penetración en la zona caudal y el índice de rigor de la trucha (*Orconhynchus mykiss*). La metodología experimental fue someter a dos tipos de beneficio electroshock y agotamiento, tres proporciones de hielo respecto al peso de pescado (0/1, 0.5/1 y 1/1) y 72 horas de almacenamiento, midiendo las distintas características evaluadas cada 12 horas. Para determinar la concentración de Sodio y Potasio se utilizó pruebas de espectrofotometría, el índice de rigor por el método de desplazamiento horizontal y la textura por mediciones de penetrometría. El tipo de beneficio por electroshock tiene el efecto de disminuir los procesos autolíticos, en consecuencia la concentración de potasio y la distancia de penetración en el músculo frente al tipo de beneficio por agotamiento. El potasio en función al tiempo tiene un comportamiento ascendente en dos etapas, hasta las 24 horas los incrementos son menores llegando hasta alrededor de 101 mmol/l y luego de este periodo los incrementos son cada vez mayores; las proporciones de hielo tienen un efecto inverso en la concentración potásica, a mayor proporción de hielo menor concentración de potasio y viceversa. Las mediciones de penetración exponen que a mayor tiempo transcurrido mayor profundidad de penetración, y las aplicaciones de hielo para el enfriamiento no presentan efectos claramente diferenciados con la metodología utilizada. Las mediciones del índice de rigor muestran que los pescados beneficiados por agotamiento alcanzan la instauración y termino de la rigidez cadavérica completa mas tempranos frente a las truchas beneficiadas por electroshock, y que además la mayor aplicación de hielo retarda la instauración de la rigidez cadavérica y demora el inicio de su resolución. La concentración de sodio en el humor vítreo de la trucha arco iris se muestra inestable y variado en función a los factores estudiados, por lo que no se recomienda el uso en esta aplicación de control.

I. INTRODUCCIÓN

La FAO ha estimado que las pérdidas post-cosecha a nivel mundial continúan siendo, sorprendentemente, el 25 por ciento de las capturas totales, por tanto la mejor utilización de los recursos acuáticos debe ser dirigida principalmente a la reducción de estas enormes pérdidas, mejorando la calidad y la preservación de los pescados, ya que es común observar que el desconocimiento y la falta de entrenamiento en la manipulación de pescado en la administración de las pesquerías constituyen la principal causa del reducido progreso.

La truchicultura en la región de Puno ha tenido, principalmente en la última década, un importante crecimiento, sin embargo aunque continúa siendo una importante alternativa de inversión, la mayoría de ellos ha tenido problemas de calidad en sus productos vendidos como materia prima, ya que los mercados internacionales tienen rigurosas exigencias de calidad y ahora también el mercado nacional, motivo por el cual la variación de calidad o la alteración propia de la materia prima en su proceso natural debe ser mínima, es por ello la prioridad de conocer las operaciones de manejo durante el periodo post-mortem y el efecto que provocan éstas en la alteración de la calidad. Trabajos de investigación como el de Tomé *et al.* (2000), Massa (2006) y otros, estudian distintos métodos de control de calidad, sin embargo la mayoría de estos fueron ejecutada con distintas especies a distintas condiciones ambientales normales, por lo que se considera necesario incursionar en investigaciones que sean el sustento real de transferencias tecnológicas de manejo post cosecha en la región.

En el presente estudio se toman como variable las principales operaciones de la cosecha y manejo post-cosecha que son la de beneficio o matanza y la temperatura de conservación durante el transporte de las truchas. El método de beneficio que se usa es de agotamiento, el cual según estudios realizados en distintos lugares y especies diferentes, provocan mayor alteración comparado con otros métodos como el de beneficio por electroshock. El

acondicionamiento en hielo es un método de aplicación de frío para la conservación de pescados, y su efectividad en la conservación de la calidad es variada de acuerdo a las condiciones en las cuales es usado, ya que las distintas especies presentan una secuencia similar de deterioro, se deben estudiar los cambios que ocurren en cada una de las mismas (Massa, 2006).

Además en la industria pesquera, el industrial necesita conocer con la mayor certeza el manejo después de la cosecha de las truchas que el proveedor está ofertando y que pueda comprobarlo por análisis metodológicos técnicos y objetivos de bajos costos, dado que la velocidad de descomposición *post-mortem* depende fundamentalmente de las diferencias en la composición de los tejidos del pescado, del tamaño del ejemplar, del estadio del ciclo reproductivo, y de los métodos de captura y manipulación (Abgrall, 1994; m. p. Massa, 2006).

La creciente demanda de truchas y la crítica situación de algunos truchicultores tradicionales de la región hace necesario la búsqueda de recursos tecnológicos que le permitan superar los problemas de cosecha y manejo *post mortem*. Por tal razón se han planteado los siguientes objetivos:

- Ω Estudiar el efecto del tipo de beneficio en la concentración iónica de Sodio y Potasio del globo ocular, la dureza del tejido muscular y en el índice de rigor de la trucha durante el periodo *post mortem*.
- Ω Determinar la variación *post mortem* de la concentración iónica de Sodio y Potasio del globo ocular, la dureza del tejido muscular e índice de rigor, por efecto de la proporción de hielo de conservación.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. TRUCHA (*Oncorhynchus mykiss*)

Tiene una longitud máxima de 115 cm (20kg). Dorso verde oscuro o verde pardo, lados más claros con una banda horizontal azul iridiscente. Puntos negros muy pigmentados en la cabeza, cuerpo, aleta dorsal y cola. Especie anádroma pero también sedentaria (no migratoria). Sin duda el salmónido más fácil de cultivar, distribución por todo el mundo. Su nombre ha cambiado del muy conocido *Salmo gairdneri* al actual *Oncorhynchus mykiss* ya que su zona de hábitat original esta en el pacifico y sus características sistemáticas recuerdan mas el género *Oncorhynchus* que al género *Salmo*. En las piscifactorías la carne suele colorearse, antes de su recolección para el consumo, con carotenoides para imitar el color de la carne del salmón (Ruiter, 1999).

2.2. TAXONOMÍA

La ubicación taxonómica de la trucha “arco iris” según Smith G. y Stearley R., citados por Flores (2003) de la sociedad americana de ictiología a través del comité de nombre de peces.

Phyllum	:	Chordata
Subphyllum	:	Vertebrata
Grupo	:	Gnatostomata
Superclase	:	Pisces
Clase	:	Osteichthyes
Subclase	:	Actinopterygii
Orden	:	Salmoniformes
Suborden	:	Salmonoidei
Familia	:	Salmonidae
Subfamilia	:	Salmoninal
Género	:	<i>Oncorhynchus</i>
Especie	:	<i>mykiss</i>
Nombre científico	:	<i>Oncorhynchus mykiss</i>

2.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA

Los componentes fundamentales de la trucha son: agua, proteínas, grasa y cenizas (Primo, 1998). Los valores aproximados usuales en porcentaje de la parte comestible crudas, se presentan en la tabla 01.

Tabla 01. Composición química proximal de la trucha de parte comestible cruda.

COMPUESTO QUÍMICO	PRIMO ^a	FLORES ^b	ITP ^c	LEON ^d
Agua	75-80	73,09	75,8	70,13
Proteínas	17-20	17,5	19,5	18,2
Grasas	2-3	7,22	3,1	3,7
Cenizas	1-1,5	1,2	1,2	1,2
Carbohidratos	0.1-1	0,79	0,4	0,4

Fuente: (^a) Primo, 1998; (^b) Flores, 2003; (^c) ITP, 2005; (^d) León, 2008

2.3.1. ELECTROLITOS

Son sustancias solubles en agua capaces de conducir corriente en soluciones acuosas. Se disocian en iones, (partículas con carga eléctrica), llámese cationes (positivos) (Na, K, Mg, etc.) y aniones (negativos), (Cl, HCO₃, Fosfato y sulfato) (Guzmán *et al.* (2004),

2.3.1.1. SODIO

El metal alcalino sodio desempeña papeles bien conocidos en la fisiología animal (Coulter, 1998). El Na⁺ es fundamental para la regulación de los equilibrios iónicos, en los líquidos intra y extra celulares, y la presión osmótica en los tejidos (Primo, 1998).

El sodio se encuentra como NaCl en muchos alimentos, es el principal componente del fluido extracelular donde juega un papel importante en la

presión osmótica y la retención de agua, interviene en la absorción de la glucosa y en la transmisión de impulsos nerviosos (Alcázar, 2002)

2.3.1.2. POTASIO (K)

El potasio es un macroelemento necesario para asegurar la retención de agua y la presión osmótica en el medio celular, y sus funciones son comparables con el sodio en los compartimentos extracelulares. Interviene en el equilibrio ácido-base, en la formación del glucógeno y en la síntesis de proteínas (Alcázar, 2002). El K^+ es el principal regulador de la presión osmótica intracelular y mantiene la fuerza iónica adecuada para la actividad de las enzimas, su transporte a través de la membrana regula el equilibrio de Na^+/K^+ (exterior/interior) que mantiene el potencial de membrana fisiológico (bombas de Na^+ y K^+) (Primo, 1998). Además es un catión presente en mayor concentración a nivel intracelular (Cingolani y Houssay, citado por Mattioli *et al.*, 2002), y según BITO y DAVSON, existe en el epitelio ciliar un mecanismo de transporte activo del potasio que lleva a su concentración mayor dentro de la cámara posterior o humor vítreo a un nivel más elevado que en el plasma (Aza-Gates, 1994).

2.3.1.3 POTASIO Y SODIO COMO INDICADORES DEL TIEMPO POSTMORTEM

Se han realizado investigaciones en los cuales se midieron alguno de los electrolitos en el humor vítreo en función al tiempo y las temperaturas ambientales expuestas. Aza Gates (1994) observó que el comportamiento postmortem del potasio en el humor vítreo de humanos es mejor frente a los del sodio, desarrollándose una variación constante del potasio, que permite encontrar una relación entre la concentración de potasio y el tiempo postmortem. Mattioli *et. al.* (2002), observó que el potasio en el humor vítreo de bovinos tiene un comportamiento ascendente en función al tiempo postmortem y ese incremento es diferente para cada temperatura (4, 20 y 30 °C) y afirmó que este

comportamiento posibilita su empleo como estimativo del momento de la muerte, conociendo la temperatura a la que estuvo expuesto el cadáver.

2.4. ESTRUCTURA DE LA MUSCULATURA

El músculo de pescado está formado por segmentos angulares superpuestos que se llaman miótomos, los cuales están unidos por capas intermedias de tejido conjuntivo que se llaman miócomos (Primo, 1998). La anatomía del músculo del pez difiere de la anatomía de los animales terrestres, porque carece del sistema tendinoso (tejido conectivo) que conecta los paquetes musculares al esqueleto del animal. En cambio, los peces tienen células musculares que corren en paralelo, separadas perpendicularmente por tabiques de tejido conectivo (miocomata), ancladas al esqueleto y a la piel. Los segmentos musculares situados entre estos tabiques de tejido conectivo se denominan miótomos (Huss, 1998).

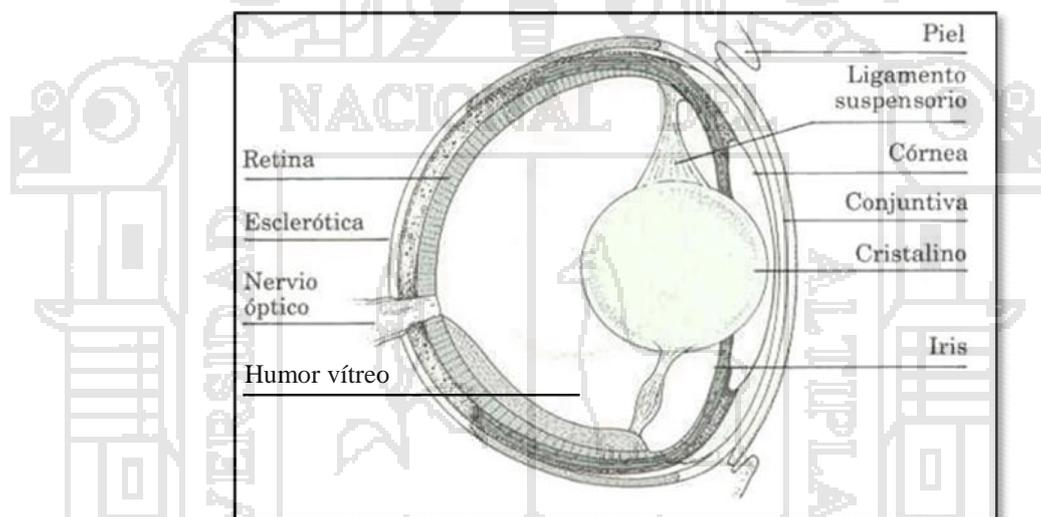
La célula está envuelta por una cubierta de tejido conectivo denominada sarcolema. Las miofibrillas contienen proteínas contráctiles, actina y miosina. Estas proteínas o filamentos están ordenados en forma alternada muy característica, haciendo que el músculo parezca estriado en una observación microscópica (Huss, 1998).

2.5. EL OJO DE LA TRUCHA

Los ojos de los peces están conformados por una serie de estructuras que no difieren mayormente de aquella que son propias del ser humano (Barreda, 1978). El ojo de los peces vertebrados, es de forma elipsoidea, consta de tres membranas. La *esclerótica* es resistente y la más externa del globo ocular. Su parte anterior, denominada *cornea*, es transparente. La *coroides* es más interior, se sitúa de detrás de la cornea, y se continúa por el iris, en cuyo centro radica la pupila. Detrás de esta se halla el cristalino, esférico, solo deformable en escasa medida y de consistencia dura. La *retina* es la membrana más interna del ojo y susceptible, como las otras dos, de ser escindida en varias capas (Kietzmann *et*

al., 1974). Las cavidades del órgano ocular están llenas de líquido; en efecto, la cavidad anterior al cristalino esta llena con el humor acuoso, en cambio la cavidad central o posterior al cristalino esta repleta de una sustancia mas densa de consistencia denominada humor vítreo (Barreda, 1978). El Humor Vítreo es un tejido mesenquimatoso que en la mayoría de los mamíferos es físicamente un hidrogel que llena la cavidad posterior del ojo y forma un soporte semisólido para la retina (Aza-Gates, 1994). Tiene como única función la transparencia, es decir permite el paso libre de las ondas luminosas a la retina (Quiroz, 1965).

Figura 01. Diagrama del ojo de la trucha (*Oncorhynchus mykiss*).



La anatomía e histología general del ojo en los peces teleósteos, presentan una estructura ocular similar a la de los demás vertebrados (ver figura 01), pero dados los diferentes hábitats y necesidades de visión, el ojo presenta numerosas variaciones en su anatomía y función (ver tabla 02). Las adaptaciones han dado como resultado tres funciones diferentes: colectar la luz, enfocar las imágenes en la retina y transformar las imágenes en señales neurales. El ojo se ha descrito anatómicamente por capas. La capa externa o túnica fibrosa, donde se encuentra la esclerótica y la córnea; una túnica media o uveal conformada por la coroides y el iris, por último, una capa interna denominada retina donde se encuentran las diferentes células fotorreceptoras (conos y bastones). El cristalino es la única

estructura que cumple las funciones ópticas en teleósteos, tiene forma casi esférica en la mayoría de los peces. Los párpados o membranas también presentan diferentes modificaciones entre las especies (Fernald, citado por Tovar *et al.*, 2008).

Tabla 02. *Tamaño relativo del ojo y cristalino en truchas arco iris de peso promedio de 264,79 g y una la longitud total promedio de 27,94 cm +/- 1,74.**

Tamaño Relativo del Ojo (TRO)	Trucha Arco Iris
Diámetro horizontal del ojo (cm)	1,09
Rango diámetro horizontal del ojo (cm)	1,00 – 1,19
Longitud total (cm)	27,94
Rango longitud total (cm)	25,5 – 31,5
Tamaño relativo (%)	3,9
Tamaño Relativo del Cristalino (TRC)	
Diámetro horizontal del cristalino (cm)	0,44
Rango tamaño relativo	0,36 – 0,41
Tamaño relativo del cristalino (%) ^a	40,36

Fuente. Tovar, *et al.* 2008

2.6. BENEFICIO DEL PESCADO

El beneficio o aturdimiento de los pescados se da por distintas metodologías o procedimientos: algunos autores mencionan métodos como incisión cerebral (Tomé *et al.*, 2000); electroshock y extracción de las agallas e inmediatamente sumergido en hielo por 4 a 6 minutos a fin de provocar una

^a La proporción del tamaño relativo del cristalino respecto al tamaño del ojo se calculó a partir de 7 individuos de trucha arco iris.

fuerte contracción de los vasos sanguíneos (Sánchez, 2004); hipotermia (muerto en agua con hielo) y golpe en la cabeza (Proctor *et al.*, 1992); asfixia o agotamiento, elevadas concentraciones de dióxido de carbono, corte espinal y sangría (Suarez *et al.*, 2007).

El aturdimiento y sacrificio por hipotermia (el pez es muerto en agua con hielo) permite obtener el más rápido inicio del rigor, mientras que un golpe en la cabeza proporciona una demora de hasta 18 horas (Proctor *et al.*, 1992). Distintos estudios indican que el grado de agotamiento al momento de muerte influyen marcadamente en el contenido de glucógeno, la velocidad de degradación y consecuentemente el pH final del músculo (Huss, 1998).

2.7. CAMBIOS POST MORTEM

Inmediatamente después de la muerte el músculo del pescado esta relajado, la textura flexible, firme y elástica generalmente persiste durante algunas horas y posteriormente el músculo se contrae (Huss, 1998). En este periodo el pescado sufrirá una serie de modificaciones sensoriales, autolíticas y bacteriológicas, que conducirán finalmente al rechazo por parte del consumidor (Sanchez, 2005). La composición química y su pH poco ácido de su carne hacen que sean considerados alimentos muy perecederos (Massa, 2006). Los primeros cambios post-mortem son debidos a enzimas endógenas que promueven la proteólisis de las proteínas musculares y del tejido conectivo, así como la hidrólisis de las grasas (Ayala *et al.*, 2006)

2.7.1. CAMBIOS SENSORIALES

Los primeros cambios sensoriales del pescado durante el almacenamiento están relacionados con la apariencia y la textura (Sánchez, 2005).

Distintos autores describen de forma particular los cambios que se dan en este periodo, una definición afirma que en la degradación post-mortem se suceden las siguientes fases: pre-rigor, rigor-mortis, resolución del rigor,

autólisis y contaminación bacteriana (Ayala *et al.*, 2006). Otra descripción menciona que tras la muerte del pescado se instaura el rigor mortis o rigidez cadavérica que con el tiempo se resolverá, lo que supone que el músculo del pescado se reblandecerá (Sánchez, 2005).

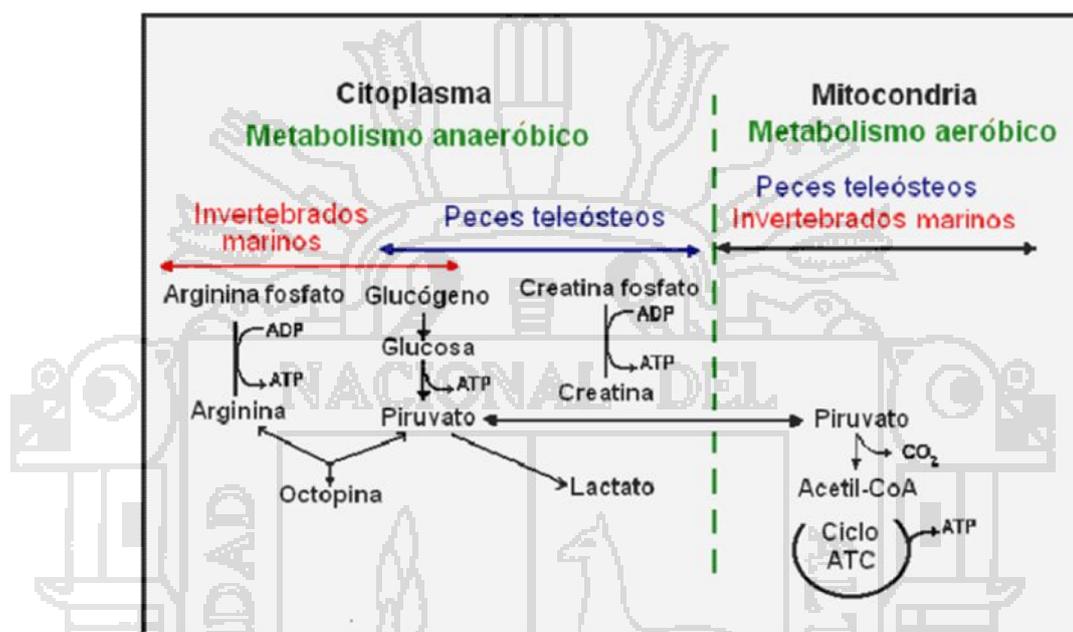
2.7.1.1. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EN EL MÚSCULO POST MORTEM

Al momento de la muerte, el suministro de oxígeno al tejido muscular se interrumpe porque la sangre deja de ser bombeada por el corazón y no circula a través de las branquias donde, en los peces vivos, es enriquecida con oxígeno (Huss, 1998). Tras la muerte del pescado, la interrupción de la circulación sanguínea priva al músculo del aporte del oxígeno y de toda una serie de nutrientes celulares (Sánchez, 2005; Massa, 2006). Dado que el oxígeno no está disponible para la respiración normal, se restringe la producción de energía a partir de los nutrientes ingeridos (Huss, 1998). El tejido necesita gran cantidad de energía para poner en marcha el aparato contráctil el cual es suministrado por el Adenosin Trifosfato (ATP) (Sánchez, 2005; Massa, 2006). En general el contenido total de ATP en el músculo no es suficiente para una contracción larga y sostenida; por lo que este compuesto debe ser resintetizado a partir de varias fuentes de energía (Massa, 2006). Cuando se agota el ATP celular y con la finalidad de obtener más energía, se inicia una glucólisis anaerobia, degradando el glucógeno a glucosa y ácido láctico (Sánchez, 2005).

La Figura 02 ilustra la ruta normal para la producción de energía muscular en la mayoría de los peces teleósteos vivos (peces óseos con aletas). El glucógeno (carbohidrato de almacenamiento) o las grasas son oxidadas o "quemadas" por las enzimas del tejido, en una serie de reacciones las cuales finalmente producen dióxido de carbono (CO₂), agua y adenosina trifosfato (ATP), un compuesto orgánico rico en energía. Este tipo de respiración se efectúa en dos etapas: una anaeróbica y otra aeróbica. La última depende de la

continua presencia del oxígeno (O_2), sólo disponible en el sistema circulatorio (Huss, 1998).

Figura 02. Descomposición aeróbica y anaeróbica del glucógeno en el músculo del pescado



Fuente: Huss, 1998.

Para la mayoría de los peces teleósteos, la glucólisis es la única ruta posible para la producción de energía en cuanto el corazón deja de latir. Este proceso, más ineficiente, genera principalmente ácido láctico y ácido pirúvico como productos finales. Así, después de la muerte, el músculo anaeróbico no puede mantener su nivel normal de ATP, y cuando el nivel intracelular declina de 7-10 $\mu\text{moles/g}$ a 1,0 $\mu\text{moles/g}$ de tejido, el músculo entra en *rigor mortis*. La glucólisis *post mortem* resulta en la acumulación de ácido láctico, con la concomitante disminución del pH en el músculo. También el estado nutricional del pez, la cantidad y grado de agotamiento al momento de la muerte, tienen un efecto dramático en los niveles de glucógeno almacenado y consecuentemente en el pH *post mortem* final. Como regla, el pescado bien descansado y bien

alimentado contiene más glucógeno que el pescado exhausto y hambriento (Huss, 1998).

2.7.1.2. RIGIDEZ CADAVÉRICA

Es la contracción muscular, el cuerpo se vuelve inflexible, que se manifiesta después del sacrificio (Huss, 1998; Alcazar, 2002). El rigor post mortem se produce en el pescado más pronto, y dura menos tiempo que en la carne (Primo, 1998). El tiempo entre el inicio y la resolución del rigor mortis dependen de diversos factores, tales como la especie, la talla, las condiciones fisiológicas antes del sacrificio, la forma de sacrificio la manipulación y la temperatura de almacenamiento (Massa, 2006). En pescados exhaustos como las especies capturadas por arrastre, la fase de rigor pasa rápidamente, así como en especies pequeñas y fatigadas (Huss, 1998).

En las fibras musculares, cuando la concentración de ATP cae por debajo de un determinado valor crítico (en general valores $< 1,0 \mu\text{moles/g}$ de músculo) se produce el fenómeno singular, denominado rigor mortis o rigidez cadavérica (Massa, 2006). Que es la contracción del músculo debido a la unión irreversible de los filamentos de actina y miosina una vez acabados las reservas de ATP (Sánchez, 2005)

Generalmente se acepta que el comienzo y la duración del rigor mortis resultan más rápido a mayor temperatura, pero se ha observado en ciertas especies tropicales el efecto opuesto de la temperatura, en relación con el comienzo del rigor (Huss, 1998). Resulta evidente que en estas especies el inicio del rigor se acelera a la temperatura de 0°C en comparación con 10°C , lo cual muestra buena correlación con la estimulación de los cambios bioquímicos a 0°C (Iwamoto *et al.* 1987). Sin embargo, una explicación para esto ha sido sugerida por Abe y Okuma (1991), quienes han demostrado que el comienzo del rigor mortis en la carpa (*Cyprinus carpio*) depende de la diferencia entre la temperatura del mar y la temperatura de almacenamiento. Cuando esta diferencia es grande, el rigor se inicia a menor tiempo y viceversa.

El significado tecnológico del rigor mortis es de mayor importancia cuando el pescado es fileteado antes o durante el rigor. Durante el rigor el cuerpo del pescado está completamente rígido; el rendimiento del fileteado resulta muy bajo y una manipulación tosca puede causar el desgarramiento de los filetes. Si los filetes son removidos del hueso antes del rigor, el músculo puede contraerse libremente y se encogerá al comenzar el rigor. Si el pescado es cocido antes del rigor, la textura será muy suave y pastosa. Por el contrario, la textura es dura pero no seca cuando el pescado es cocido durante el rigor. Posterior al rigor la carne se toma firme, succulenta y elástica (Huss, 1998).

2.7.1.3. RESOLUCIÓN DEL RIGOR MORTIS

La **resolución** del *rigor es* un proceso no del todo comprendido, pero siempre ocasiona el reblandecimiento (relajación) posterior del tejido muscular y se cree está relacionado con la activación de una o más enzimas musculares presentes en el pescado, las cuales digieren ciertos componentes del complejo *rigor mortis* (Huss, 1998). La causa principal de dicho proceso es la pérdida de la regulación biológica de las proteasa que funcionan en el recambio de las proteínas del músculo en el animal vivo, durante el almacenamiento post-mortem, dichas proteasas hidrolizan ciertas proteínas del músculo debilitando la estructura miofibrilar y promoviendo el ablandamiento (Ladrat *et al.*, 2003; m. p. Massa, 2006).

El reblandecimiento del músculo durante la resolución del *rigor* (y eventualmente el proceso de deterioro) coincide con los cambios autolíticos. De estos cambios, el primero en ser reconocido de forma más o menos predecible después de la muerte fue la degradación de los compuestos relacionados con el ATP (Huss, 1998).

2.7.1.4. MEDICION DE LA RIGIDEZ CADAVERICA

Tal y como se ha descrito anteriormente, tras la muerte del pescado se instaura el rigor mortis o rigidez cadavérica que con el tiempo se resolverá, para la medición objetiva de estos cambios post mortem, Bito et al. (1983); citado por Sánchez (2005), propusieron una valoración objetiva basada en un índice obtenido tras aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de Rigor} = \frac{D_0 - D}{D_0} \times 100$$

Donde:

D_0 = Valor inmediatamente después de la muerte

D = Valor a un intervalo de tiempo después de la muerte

2.7.2. CAMBIOS AUTOLÍTICOS

Autólisis significa "auto-digestión". Se sabe desde hace muchos años que existen por lo menos dos tipos de deterioro en el pescado: bacteriano y enzimático. La autólisis, sumada al proceso microbiano, contribuye en diferentes grados a la pérdida general de la calidad (Huss, 1998).

2.7.2.1. CAMBIOS AUTOLÍTICOS QUE INVOLUCRAN ENZIMAS PROTEOLÍTICAS

Los primeros cambios post- mortem son debido a enzimas endógenas que promueven la proteólisis de las proteínas musculares y del tejido conectivo, así como la hidrólisis de la grasa. Existen sistemas proteolíticos dentro de la fibra muscular: calpaínas, catepsinas, así como enzimas que hidrolizan el tejido conectivo, tales como la elastasa y la colagenasas. Estas proteasas han sido aisladas del músculo de pescado y el efecto de la descomposición proteolítica está generalmente relacionado con un extenso ablandamiento del tejido. (Ayala *et al.* 2006).

Las proteínas fibrilares del pescado (miosina, actina, etc.) son más sensibles a la desnaturalización y a la proteólisis que las de la carne (Primo, 1998). Cada célula muscular o fibra está rodeada por tejido conectivo que se une a la miofibrila al final de la célula mediante finas fibrillas de colágeno (Huss, 1998). La medición instrumental de la textura del músculo de trucha refrigerada decae a medida que se solubilizan los niveles de colágeno tipo V, presumiblemente debido a la acción de las enzimas colagenasas autolíticas (Sato *et al.*, 1991). Son estas enzimas las que presumiblemente causan "desgajamiento", o ruptura de los miótomos, durante el almacenamiento prolongado en hielo o durante el almacenamiento por cortos períodos de tiempo, pero a elevadas temperaturas (Huss, 1998).

2.7.3. CAMBIOS BACTERIOLÓGICOS

El músculo de un pez saludable o de un pescado recién capturado es estéril, debido a que el sistema inmunológico del pez previene el crecimiento de bacterias en el músculo. Cuando el pez muere, el sistema inmunológico colapsa y las bacterias proliferan libremente. En la superficie de la piel, las bacterias colonizan en una amplia extensión la base de las escamas y agallas. Durante el almacenamiento, las bacterias invaden el músculo penetrando entre las fibras musculares (Huss, 1998). Por un lado, la piel hace de barrera para impedir la entrada de microorganismos y por otro lado, el peritoneo protege la zona intestinal. Durante la captura y manipulación del pescado tienen lugar desgarros y roturas de tejido que permiten la colonización bacteriana del músculo por parte de la flora característica del pescado. La entrada de microorganismos dependerá de lo robusta que sea la piel y de lo gruesa que sea la capa de mucus dérmico del pescado, ya que éste ejerce una actividad inhibitoria mediante mecanismos protectores como los lisozimas. A la vez, la invasión bacteriana del pescado se ve favorecida por los cambios debidos a la autólisis, los cuales convierten la carne de pescado en un medio rápidamente utilizado por las bacterias, ya que contiene compuestos de bajo peso molecular como dipéptidos y aminoácidos libres (Sánchez, 2005).

La flora bacteriana inicial en pescados de agua templada está dominada por bacterias gram-negativas, bacilos psicrófilos pertenecientes a los géneros *Pseudomonas*, *Alteromonas*, *Moraxella*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium* y *Vibrio*. Después de una fase de demora, cuya duración depende básicamente de la temperatura, las bacterias del pescado inician un crecimiento exponencial a lo largo del deterioro alcanzando valores de $10^8 - 10^9$ unidades formadoras de colonias (ufc)/g de carne o cm^2 de piel cuando el deterioro es manifiesto. Tendrán lugar cambios cualitativos en función de las condiciones de almacenamiento (Huss, 1998).

Inicialmente, el crecimiento se da bajo condiciones aerobias utilizando como sustrato los hidratos de carbono y el lactato. En cierta manera, el crecimiento de microorganismos aerobios da lugar a la formación de microclimas anaerobios en la superficie del pescado, que favorece entonces el crecimiento de las bacterias anaerobias facultativas (Sánchez, 2005).

2.8. CONSERVACIÓN DEL PESCADO

Las condiciones de refrigeración no detienen los cambios sensoriales, ni el crecimiento bacteriano, ni su actividad enzimática, pero se enlentecen dichos procesos y la consecuente aparición de los productos de degradación relacionados con el deterioro. La refrigeración es la forma más común de conservación de los pescados frescos (Sánchez, 2005). La reducción de la temperatura disminuye la velocidad de las reacciones enzimáticas, particularmente las relacionadas a los primeros cambios *post mortem*, extendiendo el período de *rigor mortis*, si dicha reducción se aplica en forma apropiada (Huss, 1998).

2.8.1. CONSERVACIÓN POR HIELO

Entre el pescado –con temperatura inicial elevada – y el hielo que lo rodea inmediatamente surge un intercambio térmico, cuyo resultado es la refrigeración del pescado y el derretimiento del hielo. A pesar de la sencillez de

este método de refrigeración, el proceso de intercambio térmico entre el pescado y el medio refrigerante es bastante complejo (Valiente, 2001).

El pescado refrigerado es el que desde su captura está conservado en hielo, con lo que se garantizan temperaturas que oscilan entre $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $6\text{ }^{\circ}\text{C}$. De esta forma el pescado se puede conservar durante varios días. El hielo debe distribuirse de manera que cubra todo el pescado, en una proporción que varía entre 1/1 y 1/4 respecto al pescado (Sánchez, 2005).

El hielo como medio de enfriamiento del pescado ofrece numerosas ventajas: tiene una capacidad refrigerante muy grande con respecto a un peso a volumen determinado, y es inocuo, portátil y relativamente barato. Es especialmente apropiado para refrigerar pescado, porque permite un enfriamiento rápido. Cuando se utiliza este método, la transferencia de calor se produce por contacto directo del pescado con el hielo, por conducción entre ejemplares adyacentes y por el agua de fusión que se desliza sobre la superficie del pescado. El agua de fusión fría absorbe calor del pescado y al fluir sobre el hielo se vuelve a enfriar. Así pues, la mezcla íntima del pescado con el hielo no sólo reduce el espesor del estrato de pescado que se ha de enfriar, sino que promueve también esta interacción refrigerante convectiva entre el agua de fusión y el pescado (Graham *et al.*, 1993),

2.8.2. GRADO DE MOLIENDA DEL HIELO

El grado de molienda del hielo, o sea las dimensiones de los trozos o fragmentos del mismo, influye sustancialmente en la duración de la refrigeración del pescado (Valiente, 2001). Las utilizadas más comúnmente en el pescado son las escamas, las placas, los tubos y los bloques. El hielo en bloque es triturado antes ser utilizado para enfriar el pescado (Huss, 1998).

2.8.3. VOLUMEN ESPECÍFICO DEL HIELO Y DE LA MEZCLA PESCADO-HIELO

Es importante conocer los valores de los volúmenes específicos del hielo y de las mezclas pescado-hielo, para comprender mejor la esencia del proceso de refrigeración del pescado (ver tabla 03). El coeficiente de la densidad de la colocación del pescado, hielo o de la mezcla de ambos se obtiene dividiendo la masa volumétrica entre la densidad, por ello dependerá de la forma y medidas del pescado, así como también del grado de trituración del hielo (Valiente, 2001).

Tabla 03. Características físicas del hielo utilizado para enfriar pescado. Adaptado de Myers (1981)

<i>Tipos</i>	<i>Dimensiones Aproximadas (1)</i>	<i>Volumen específico (m³/t)(2)</i>	<i>Peso específico (t/m³)</i>
Escamas	10/20-2/3 mm	2.2-2.3	0.45-0.43
Placas	30/50-8/15 mm	1.7-1.8	0.59-0.55
Tubos	50(D)-10/12 mm	1.6-2.0	0.62-0.5
Bloques	Variable (3)	1.08	0.92
Bloques triturados	Variable	1.4-1.5	0.71-0.66

Fuente: Huss, 1998

Notas:

(1) *Dependen del tipo de máquina para fabricar hielo y del ajuste.*

(2) *Valores indicativos, es aconsejable determinarlos en la práctica para cada tipo de planta de hielo.*

(3) *Generalmente bloques de 25 o 50 Kg cada uno.*

2.8.4. FACTORES DEL INTERCAMBIO TERMICO EN LA REFRIGERACION DEL PESCADO CON HIELO

Durante la refrigeración del pescado, el intercambio térmico ocurre en tres zonas (Valiente, 2001) a continuación se describen:

- a. A través de la superficie del pescado que se encuentra en contacto directo con el hielo.
- b. A través de la superficie del pescado bañada por el agua de descongelamiento del hielo;
- c. A través de sectores en contacto con el aire contenido entre los pedazos de hielo.

2.8.5. CANTIDAD DE HIELO NECESARIO

La masa de hielo necesaria para enfriar el pescado desde la temperatura inicial hasta la temperatura final de conservación puede calcularse a partir de una expresión que equipara el calor absorbido por el hielo, en el miembro izquierdo de la ecuación, con el calor perdido por el pescado, en el miembro derecho de la misma (Graham *et al.* 1993; Huss, 1998).

$$(M_h)(L_h) = (M_p)(C_{ep})(t_i - t_f)$$

Donde:

M_h = la masa de hielo que se funde (kg)

L_h = el calor latente de fusión del hielo (Kcal/kg)

M_p = La masa del pescado

C_{ep} = El calor específico del pescado (Kcal/kg°C)

t_i = La temperatura inicial del pescado (°C)

t_f = La temperatura final del pescado (°C)

La cantidad de hielo, tomada de acuerdo a los cálculos teóricos, es insuficiente para la refrigeración del pescado ya que no alcanza para ser distribuido uniformemente por toda la superficie del mismo, y no se logra el contacto total de la superficie de los pescados con el medio refrigerante, tampoco se considera un factor importante que son las pérdida térmicas (Huss, 1998; Valiente, 2001).

Para compensar las pérdidas térmicas es necesaria, el balance de la energía absorbida por el hielo derretido para compensar el calor del exterior de la caja o el contenedor (Huss, 1998), según se indica a continuación:

$$L * \left(\frac{dMh}{dt} \right) = - U A (T_e - T_i)$$

Donde:

Mh = masa de hielo fundida para compensar las pérdidas térmicas (Kg)

U = coeficiente general de transferencia térmica (kcal/h.m².°C)

A = área de superficie del contenedor (m²)

T_e = temperatura externa (fuera del contenedor)

T_i = temperatura del hielo (generalmente se toma como 0°C)

t = tiempo (horas)

Es posible estimar las pérdidas térmicas, calculando U y midiendo A. Sin embargo, este tipo de cálculo raramente proporciona una indicación exacta sobre los requisitos de hielo, debido a un número de factores prácticos (falta de datos confiables sobre materiales y condiciones, irregularidades en la construcción de contenedores, formas geométricas irregulares de cajas y contenedores, influencia de la tapa y el drenaje, efecto de la radiación y tipo de apilamiento) (Huss, 1998). El cálculo de las velocidades de fusión del hielo rara vez da un indicación exacta de la cantidad de hielo necesaria, ya que con frecuencia no es fácil

obtener datos fidedignos sobre los materiales y las condiciones, como la irregularidades de los contenedores o las variaciones de las condiciones ambientales durante el almacenamiento que cambian constantemente y dificultan el cálculo de las velocidades de fusión (Grahan *et al.*, 1993). El pescado refrigerado es el que desde su captura esta conservado en hielo en un proporción que varía entre 1:1 y 1:4 respecto al pescado y que se distribuye cubriendo todo el pescado, con lo que se garantiza temperaturas entre 1 °C y 6 °C (Massa, 2006). El contenido optimo de hielo en la mezcla de pescado debe ser cercano al 75%; el incremento de la cantidad desde 75% hasta 100% acelera el proceso de manera insignificante, mientras que un contenido de hielo de mas de 100%, respecto de la mas del pescado, no provoca alguna disminución perceptible de la duración de la refrigeración (Valiente, 2001).

2.8.6. CALOR ESPECÍFICO

El calor especifico del pescado magro es de aproximadamente 0.8 kcal/kg°C (Grahan *et al.* 1993; Huss, 1998; Valiente, 2001).

El valor del calor especifico puede calcularse también de forma más precisa, teniendo en cuenta las variaciones en el contenido de aceite de pescado, y este valor perfeccionado puede utilizarse cuando la composición de la captura sea razonablemente homogénea (Grahan *et al.* 1993).

$$C_{ep} = 0.5 X_l + 0.3 X_s + 1.0 X_a$$

Donde:

C_{ep} = El calor especifico del pescado (Kcal/kg°C)

X_l = la proporción de lípidos de la masa

X_s = la proporción de sólidos de la masa

X_a = la proporción de agua de la masa

2.8.7. TEMPERATURA INICIAL DEL PESCADO

La temperatura inicial del pescado influye en menor grado en la duración de la refrigeración, cuanto más alta sea la temperatura inicial del pescado a refrigerar, tanto más tiempo demorara la refrigeración (Valiente, 2001).

2.9. CALIDAD

Es el conjunto de características de una entidad que le confieren la aptitud para satisfacer las necesidades establecidas e implícitas (ISO, 8402). La calidad de los productos alimentarios se ha puesto en primer plano tanto a nivel del consumidor como de los profesionales. Sin embargo, este término cubre numerosos aspectos (higiénica, nutricional, organoléptica y tecnológica) que tienen, *a priori*, pocas relaciones entre ellos más o menos estudiadas (Roudot, 2004). En la industria pesquera, el término calidad tiene variados significados y generalmente está asociado a la apariencia estética y frescura o deterioro del pescado (Huss, 1998) o a especies costosas y tamaño del ejemplar (Sánchez, 2005).

2.9.1. CALIDAD HIGIÉNICA.

El alimento no debe llevar ningún elemento tóxico en dosis peligrosas para el consumidor. La causa de la toxicidad del alimento puede ser de naturaleza química (metales pesados, residuos de pesticidas, etc.) o microbiológica y sus toxinas principalmente (Roudot, 2004).

2.9.2. CALIDAD NUTRICIONAL

Es la capacidad del alimento para alimentar. Tiene un aspecto cuantitativo y un aspecto cualitativo relacionado con la búsqueda del equilibrio nutricional. El nivel de calidad nutricional es cuantificable y puede fijarse por vía reglamentaria (Roudot, 2004).

2.9.3. CALIDAD ORGANOLÉPTICA

Puede ser considerada también como el carácter hedónico del alimento. Considerada a veces como un lujo, es un elemento que puede ser primordial en la elección del consumidor. Este elemento tiene una parte ligada a la psicología y a la cultura del individuo que no es posible normalizar, pero únicamente intentar obtener una buena adecuación entre el producto y lo esperado por el consumidor (Roudot, 2004).

2.9.4. CALIDAD TECNOLÓGICA

Dentro del ámbito de la industria, la calidad se debe asociar y definir para cada tipo de producto (Sánchez, 2005). Afecta esencialmente a las empresas de transformación. Esta unida a la facilidad de adaptación del producto a un proceso de fabricación, de modificación, incluso de transporte. De hecho de esta realidad es tan compleja de definir como la calidad organoléptica, pues tiene que considerar toda la cadena de transformación, desde el cultivo hasta la distribución del producto acabado (Roudot, 2004).

El término calidad puede usarse en un “sentido comparativo” por el que los productos son clasificados según una base relativa o reciben una categoría relativa de acuerdo a determinados criterios; otra en un “sentido cuantitativo” según es frecuente en la fabricación de alimentos cuando se determina el nivel aceptable de calidad de una partida de producto o, en otras palabras en que medida se aparta del ideal; el tercer concepto es su “adaptación para un determinado propósito” que relaciona la capacidad del producto para satisfacer una determinada necesidad. (Arthey D. y Dennis C., 1992)

2.10. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PESCADO

2.10.1. MÉTODOS SENSORIALES

La evaluación sensorial se puede definir como una disciplina científica que analiza las características del alimento a través de los sentidos (vista, olfato,

gusto, tacto y audición) (Huss, 1998; Massa, 2006). Estos métodos son ampliamente utilizados en las inspecciones diarias de puertos y mercados; y son en los que se apoyan los consumidores e inspectores para determinar la frescura, calidad e idoneidad de los diferentes lotes de pescado. Los métodos sensoriales no requieren de equipos ni materiales especiales, son rápidos y permiten la valoración simultánea de más de un parámetro en diferentes muestras de pescado (Sánchez, 2005; Massa, 2006). Sin embargo presentan la desventaja de que el resultado está sometido a las impresiones subjetivas del panel de catadores, hecho que se puede reducir mediante una adecuada selección y entrenamiento de jueces para el análisis sensorial (Huss, 1998; Sánchez, 2005)

Numerosos esquemas han sido desarrollados para el análisis sensorial de distintas especies de pescado (Massa, 2006). Las pruebas analíticas objetivas, usadas en el control de la calidad, pueden ser divididas en dos grupos: pruebas discriminativas y pruebas descriptivas. Las pruebas discriminativas son usadas para evaluar si existe una diferencia entre las muestras (prueba triangular, prueba de calificación/ordenación). Las pruebas descriptivas se emplean para determinar la naturaleza e intensidad de las diferencias (perfiles y pruebas de la calidad). La prueba subjetiva consiste en una prueba emocional basada en una medición de preferencias o aceptación (Huss, 1998).

2.10.2. MÉTODOS MICROBIOLÓGICOS

La finalidad del análisis microbiológico de los productos pesqueros es evaluar la posible presencia de bacterias u organismos de importancia para la salud pública, y proporcionar una impresión sobre la calidad higiénica del pescado, incluyendo el abuso de temperatura e higiene durante la manipulación y el procesamiento. En general, los resultados microbiológicos no proporcionan ninguna información sobre la calidad comestible y la frescura del pescado (Huss, 1998).

El principal inconveniente de los métodos microbiológicos tradicionales es que normalmente requieren entre 24 hs y 3 días para la obtención de

resultados hecho que limita su utilización (Massa, 2006) y requieren de personal capacitado en la ejecución e interpretación de los resultados (Huss, 1998). Durante la última década han sido desarrollados varios métodos microbiológicos rápidos, basados generalmente en medidas indirectas de tipo fisicoquímico que permiten ahorrar tiempo en la obtención de resultados (Huss, 1998; Massa, 2006).

2.10.3. MÉTODOS FÍSICOS

Los métodos físicos son generalmente no destructivos, sencillos y de fácil aplicación, por lo que resultan muy útiles en la analítica de rutina y pueden utilizarse fuera del laboratorio. Existen numerosos métodos físicos para la determinación de la calidad del pescado como la determinación de la resistencia eléctrica, el pH muscular, del índice de refracción del humor vítreo, rigidez cadavérica (Sánchez, 2005) y propiedades de textura (Massa, 2006).

2.11. TEXTURA

Es la propiedad sensorial de los alimentos que es detectada por los sentidos del tacto (oral y no oral), vista y el oído, y que se manifiesta cuando el alimento sufre deformación, se refiere generalmente a los sólidos; no es solo una propiedad sino un conjunto de varios atributos (Alcázar, 2002). La textura es una de las características de calidad de los alimentos más importantes. Los alimentos tienen diferentes propiedades de textura; estas diferencias son causadas por las diferencias inherentes debidas a la diferencia de variedad, a las diferencias debidas a la madurez, y a la diferencia provocada por los métodos de procesado (Sahin y Sumnu, 2009).

La textura de los alimentos se puede evaluar mediante métodos sensoriales o instrumentales. Los métodos sensoriales necesitan un panel de cata que contenga panelistas entrenados. Es difícil la repetición de resultados. Los métodos instrumentales son menos caros y consumen menos tiempo si se comparan con los métodos sensoriales (Sahin y Sumnu, 2009). La textura de los

alimentos no tiene una definición exacta, precisa y satisfactoria sin embargo, se puede decir que posee ciertas características: (Roudot, 2004)

- Se trata de un grupo de propiedades físicas que derivan de la estructura del alimento;
- Están relacionadas con la mecánica y la Reología;
- No se trata de una propiedad sino de conjunto de propiedades;
- No está directamente relacionada con el olor o el gusto.

La textura es uno de los factores más importantes a considerar en la calidad del pescado (Botta, 1991; Huss, 1998). Las modificaciones en la constitución fibrilar que presentan cada especie ante factores intrínsecos y extrínsecos suponen una variabilidad potencial en su textura (Ayala *et al.*, 2006). Los posibles mecanismos que pueden explicar los procesos de alteración relacionados con los cambios en la textura, en el almacenamiento y el transporte son: la degradación enzimática de algunos componentes de las miofibrillas y del tejido conectivo, y la separación de los espacios intercelulares que permiten que se mantenga una estructura organizada y estable en los componentes musculares (Cheret *et al.*, 2005).

La integridad muscular del pescado se debe principalmente a la función que tienen las proteínas estructurales presentes (colágeno, titina, nebulina y otras) (Verrez-Bagnis *et al.*, 1999; m. p. Huss, 1998). Así, pequeñas modificaciones en estas proteínas pueden producir cambios importantes en la textura del pescado. Asimismo son sumamente importantes los factores post mortem como la manipulación, el procedimiento utilizado para el sacrificio y el perfil de temperatura durante el almacenamiento (Faergemand *et al.*, 1995).

El tejido conjuntivo de los peces es más débil que el de los mamíferos y aves; tiene menos colágeno, éste está menos polimerizado y se gelatiniza a 40°C; por esta razón, en la cocción, los miotomos se desprenden unos de otros. En los peces más viejos, el colágeno no se hace más resistente por enlaces cruzados,

como sucede en los animales de sangre caliente. La congelación y descongelación influyen en la consistencia del pescado, porque el tejido conjuntivo absorbe agua y los cristales de hielo lo rompen; si el pescado se descongela y se filetea los miotomos se sueltan y los filetes pierden consistencia. Este efecto se llama “gaping” (Primo, 1998).

2.11.1. SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA TEXTURA

En el campo de los sólidos y de los semisólidos, dos ensayos mecánicos en análisis de textura, representan la mayor parte de los estudios efectuados, estos son la compresión y penetrometría (Alvarado y Aguilera, 2001)

Mediciones objetivas de las características de textura pueden realizarse mediante texturómetro (Veland y Torrissen, 1999). Si bien estos métodos son muy sensibles presentan la desventaja de ser destructivos (Sigurgisladottir *et al.*, 1999; Hyldig y Nielsen, 2001). Estos sistemas consisten en el principio mecánico de la introducción de una o varias agujas o punzones a través de una muestra de carne, midiendo la fuerza necesaria para atravesar a la misma. (García, 2007).

Los métodos de penetración son comúnmente usados como instrumentos de valoración de alguna característica de textura en la línea de procesado. (García, 2007) los resultados de la medición con un penetrómetro portátil, que mide la firmeza como la elasticidad se correlacionan bien con la calificación subjetiva de la textura (Botta, 1991).

2.12. ESPECTROFOTOMETRÍA

La espectrofotometría es una técnica de análisis que permite identificar o cuantificar sustancias, a través de la determinación o medición del espectro de absorción de energía y de la cantidad de esta absorbida por la sustancia (interacción de materia y energía en forma de radiación) (Alcázar, 2002). La ley de “Bourguer-Lambert- Beer”, explica como la variación de la intensidad de luz

transmitida por una muestra con el espesor de ella o con la concentración de la sustancia, para materiales translúcidos. Estas relaciones permiten hallar la concentración de una especie química a partir de la medida de la intensidad de luz absorbida por la muestra. (Matissek *et al.* 1988).

Esta ley se puede expresar en términos de potencia de luz o de intensidad de luz, asumiendo luz monocromática, como:

$$T_{\lambda} = I_t = \frac{10^{-\epsilon_{\lambda} \cdot b \cdot c}}{I_0}$$

Donde:

T es la transparencia de la muestra en longitud de onda λ .

I_t, es la intensidad de la luz transmitida por la muestra.

I₀, es la intensidad de la luz que incide sobre la muestra y que proviene de la fuente.

ϵ , es el coeficiente de absorptividad molar en unidades de $M^{-3} \cdot cm^{-1}$.

b, es la longitud de la trayectoria del haz de luz a través de la muestra o el espesor de la celda en cm o lo que se conoce como paso óptico.

C, es la concentración de moléculas absorbentes.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES, INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

Materiales

- Cubos de almacenamiento de plástico 45*70*35 cm
- Guantes descartables estériles
- Regla de medición de 30 cm
- Cuchillos de acero inoxidable
- Hielo (escamas de hielo)

Instrumentos

- Pipetas micro calibradas de precisión variable /5-50 μ l; 50-100 μ l y 100-500 μ l, marca LABMATE SOFT.
- Jeringa descartable de 5 ml
- Tubo de plástico con tapón hermético.
- Soporte y gradilla para tubos.
- Tubos de ensayo
- Cronómetro.

Equipos

- Espectrofotómetro (ANALIZADOR BIOQUÍMICO EMPEROR 168)
- Penetrómetro (LABOR MÜSZERIPARI MÜVEK/ESZTERGOM)
- Termómetro (TERMÓMETRO DIGITAL MULTI/-50°C – 200°C)
- Equipo de Electroshock (220 V)
- Balanza analítica (BAXTRAN BAT/3000 g – 0.05 g)
- Centrífuga de PLC.

3.2. LUGAR DE EJECUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en la ciudad de Puno del departamento de Puno a 3825 m.s.n.m. en el mes de Marzo del 2010, en las instalaciones de la Universidad Nacional del Altiplano.

- Centro de Investigación y Producción Pesquera de Chucuito de la Universidad Nacional del Altiplano.
- Laboratorio de Procesamiento de Productos Agropecuarios de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano.
- Laboratorio de Análisis del Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA, Anexo Salcedo - Estación Experimental ILLPA – Puno. Ministerio de Agricultura.
- Laboratorio de Diagnóstico Médico DIAGNO-MED, Jr. Arequipa 612- Puno.

3.3. MUESTRAS Y MUESTREO

Se estudió la especie pesquera arco iris (*Orconhynchus mykiss*).

Los ejemplares de *Orconhynchus mykiss* utilizados fueron cosechadas en el lago Titicaca de las jaulas flotantes del Centro de Investigación y Producción Pesquera de la Universidad Nacional del Altiplano, en la fecha del 19 de marzo del 2010. Los individuos eran de 07 meses y 01 semana de edad, con tallas entre 27 a 33 cm de longitud (talla comercial) y peso promedio de 297.9 gramos fueron capturados, beneficiados y transportados rápidamente para ser acondicionadas en cajas plásticas perforadas, intercalando alternadamente capas de escamas de hielo y pescado (en relación 0:1, 0.5:1 y 1:1). Las cajas plásticas fueron transportadas inmediatamente al Laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial y una adición de hielo se realizó a las 24 horas (Anexo 15).

Se realizaron tres experimentos. En cada uno de ellos, 3 pescados fueron separados a 0, 12, 24, 36, 48, 60 y 72 horas de almacenamiento y usados para los análisis químicos y físicos.

3.4. METODOLOGÍA ANALÍTICA

3.2.1. ANÁLISIS PROXIMAL DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES

Dado que nuestras unidades experimentales son ejemplares de trucha, requerimos conocer cuál es su composición química de cada una; conocemos que la trucha como ser vivo presenta distintos sistemas y órganos los cuales presentan diferente composición química, realizaremos un homogenización de la muestra con una trituración y licuación, a partir de este homogenizado se tomaran muestras para las diferentes determinaciones de análisis proximal.

E. Determinación de humedad.- Se realizo por desecación en una estufa a 65°C con una muestra de 5 gramos, hasta lograr peso constante durante 12 horas, la determinación de humedad se hizo por diferencia de peso entre el peso inicial y el peso final, obteniéndose el porcentaje de humedad (AOAC, 1993).

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{Gr. de muestra.}} \times 100$$

F. Determinación de proteína total.- Se determino por el método semimicro kjedahl, usando el factor de 6.25 para convertir el nitrógeno a proteína total. El procedimiento comprende 3 fases: digestión, destilación y titulación. Se peso 0.1 gr. De muestra, se lleva a un balón Kjeldahl, se agrega 2.5 ml. De acido sulfúrico y se coloca en una cocina de digestión hasta que quede cristalizado. La muestra

digerida se agrega NaOH, e inmediatamente se conecta el vapor para que se produzca la destilación, se coloca el refrigerador y se recibe destilado en el erlenmeyer con contenido de ácido bórico más indicadores de pH; la destilación termina cuando hay un viraje de color, luego se procede a la titulación con HCl. Se anota el gasto y se promedia a hacer los cálculos con la siguiente fórmula (AOAC, 1993).

$$\% N = \frac{ml\ HCl \times normalidad \times Meq \times N_2}{Gr\ de\ muestra.} \times 100$$

F= factor de conversión (6.25)

G. Determinación de grasa.- Se determinó mediante el método de Soxhlet, para lo cual se pesó 2 gr. de muestra, se empaqueta en un papel filtro Whatman N°2 se coloca el paquete en el cuerpo del aparato Soxhlet, debe ser tarado libre de humedad (anotando peso) y luego agregar el hexano, seguidamente se conecta a una fuente de calor, al calentarse se evapora y asciende a la parte superior, allí se condensa por refrigeración y cae sobre la muestra, regresando al balón por sifón. Se evapora el hexano remanente en el balón una estufa a 60°C y enfría en una campana. Los cálculos se realizaron con la siguiente fórmula (AOAC, 1993).

$$\%grasa = \frac{(peso\ de\ balón\ +\ grasa) - (peso\ de\ balón\ vacío)}{peso\ de\ muestra.} \times 100$$

H. Determinación de cenizas.- Se realizó por 30 minutos de calcinación, después de esto se retira el crisol y deja enfriar, con el disgregador se rompe las partículas incineradas en forma uniforme e introducir

nuevamente el crisol, transcurrido el tiempo se saca el crisol y dejar enfriar a temperatura ambiente, colocar en un desecador y luego pesar. El porcentaje de cenizas se determina de la siguiente manera (AOAC, 1993).

$$\% \text{ cenizas} = \frac{(\text{peso del crisol} + \text{cenizas}) - (\text{peso del crisol vacío})}{\text{peso de muestra.}} \times 100$$

3.2.2. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RIGOR

El índice de rigor se midió utilizando el método de Bito *et al.* (1983), el pescado se pondrá en forma horizontal en una tabla, sobresaliendo la mitad del cuerpo de manera longitudinal, a partir del filo de la tabla como se muestra en la figura 03 La distancia medida desde la línea horizontal hacia la base de la cola (D) será medida a diferentes intervalos de tiempos determinados después de la muerte, y el índice de rigor será calculado por lo tanto aplicando los valores de la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de Rigor} = \frac{D_0 - D}{D_0} \times 100$$

Donde:

D_0 = Valor inmediatamente después de la muerte

D = Valor a un intervalo de tiempo después de la muerte

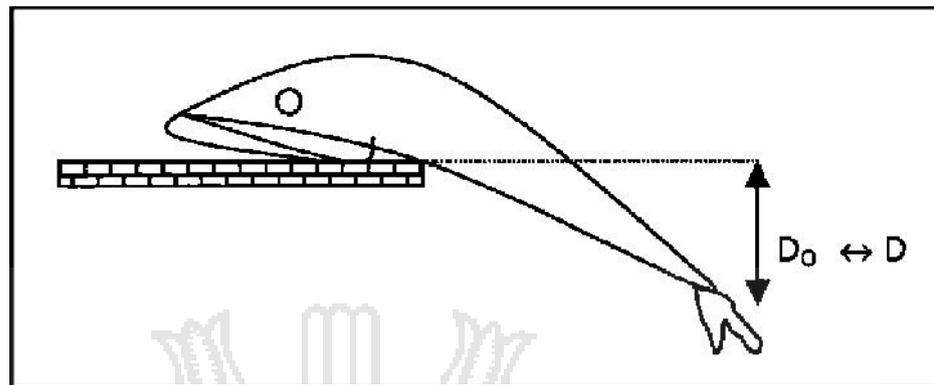


Figura 03. Esquema del procedimiento de medición del índice de rigor (Sánchez, 2005).

3.2.3. MEDICIÓN DE LA TEXTURA

Se efectuó con un texturómetro – Penetrómetro Húngaro, Marca LABOR MÜSZERIPARI MÜVEK/ESZTERGOM modelo OB-204, fue utilizado para medir los cambios de una las propiedades de textura, la dureza medido por las distancias de penetración.

Para determinar los cambios en la dureza que tienen lugar en el pescado entero durante el almacenamiento con diferentes aplicaciones de hielo se realizaron ensayos de punción o penetración en la zona caudal, estos intentaron simular la presión que podría ejercer con el dedo una persona que lleva a cabo un análisis sensorial. En cada ejemplar se efectuaron tres determinaciones en la región caudal, justo al lado de la línea lateral encuadrando al ejemplar paralelo a la superficie de contacto del sensor (figura 04). La compresión se realizo con una báscula cilíndrica ovalada de acrílico de 13 mm de diámetro, con un peso de 97.5 g. La dureza fue determinada como la distancia penetrada de la báscula en un tiempo de 10 segundos.

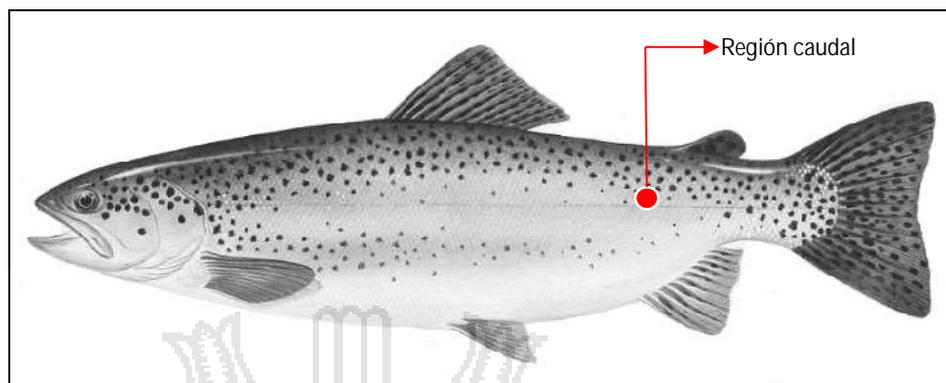


Figura 04. Diagrama de la localización de las medidas de firmeza realizadas en la trucha (*Orconhynchus mikiss*).

3.2.4. MEDICIÓN DE LOS ELECTROLITOS

Se efectuó con un analizador semiautomático marca EMPEROR, MODELO EMP-168 que utiliza la metodología de espectrofotometría ultravioleta en el cual se realizó por la prueba Fotométrica Turbidimétrica.

3.2.4.1. DETERMINACIÓN DE POTASIO/MÉTODO TPB-Na

A. PRINCIPIO DEL MÉTODO

El potasio reacciona con el tetrafenilborato sódico en un medio alcalino libre de proteínas formándose una turbidez dispersa de tetrafenilborato de potasio. La turbidez producida es proporcional a la concentración de potasio y puede medirse fotométricamente.

B. REACTIVOS

Sol. Precipitante	Acido tricloroacético (TCA)	0.3 mol/L
R.1	Tetrafenilborato de sodio (TPB-Na)	0.2 mol/L
R.2	Hidróxido sódico (NaOH)	2.0 mol/L
Standart.	Patrón primario acuoso de Potasio	5.00 mmol/l

C. PROCEDIMIENTO

1. Mezclar en cantidades iguales los reactivos R.1 y R.2 la solución resultante será denominada el **reactivo de trabajo**.

2. Condiciones del ensayo:

Longitud de onda..... 578 nm

Cubeta 1 cm paso de luz

Temperatura 37°C /15-25°C

3. Ajustar el espectrofotómetro a cero frente a agua destilada.

4. Pipetear en una cubeta:

Muestra (μL) 50

Sol. Precipitante (μL) 500

5. Agitar cuidadosamente.

6. Centrifugar a alta velocidad durante 5-10 min.

7. Separar el sobrenadante y pipetear en una cubeta:

	Patrón	Muestra
React. Trabajo (mL)	1.0	1.0
Standart (μL)	100	--
Sobrenadante (μL)	--	100

8. Para producir una turbidez homogénea, el Standard y el sobrenadante deben dosificarse en el centro del reactivo de trabajo. Mezclar y dejar reposar durante 5 minutos.

1. Leer la absorbancia (A) del standard y de las muestras frente al blanco de reactivo. La reacción incolora de aspecto turbio ligero es estable 30 minutos.

D. CÁLCULOS

$$\frac{A_{\text{Muestra}}}{A_{\text{STD}}} \times 5.00 (\text{Conc. Patrón}) = \text{mmol/L de iones potasio}$$

Factor de conversión: $\text{mmol/L} = \text{mEq/L}$

3.2.4.2. DETERMINACIÓN DE SODIO/MÉTODO Mg- URANILACETATO

A. PRINCIPIO DEL MÉTODO

El sodio se precipita con Mg acetato de Uranilo; los iones de uranilo en suspensión forman un complejo de color marrón-amarillento con ácido tioglicólico. La diferencia entre el blanco del reactivo (sin precipitación de sodio) y la muestra es proporcional a la concentración de sodio.

B. REACTIVOS

Sol. precipitante	Acetato de uranilo	19 mmol/l
	Acetato de magnesio	140 mmol/l
Reactivo de trabajo	Tioglicolato de amonio	550 mmol/l
	Amonio	550 mmol/l
Na-p CAL	Patrón primario acuoso de Sodio	150 mmol/l

C. PROCEDIMIENTO

2. Condiciones del ensayo:

Longitud de onda..... 410 nm

Cubeta 1 cm paso de luz

Temperatura 37°C /15-25°C

3. Ajustar el espectrofotómetro a cero frente a agua destilada.

4. Pipetear en una cubeta:

	Patrón	Muestra
Standard (µL)	20	--
Muestra (µL)	--	20
Sol. Precipitante (µL)	1.0	1.0

5. Tapar los tubos y mezclar cuidadosamente. Dejar reposar durante 5 minutos.

6. Agitar vigorosamente durante 30 segundos. Dejar reposar durante 30 minutos.

7. Centrifugar a alta velocidad durante 5-10 min.
8. Separar el sobrenadante y pipetear en una cubeta:

	Blanco	Patrón	Muestra
React. Trabajo (mL)	20	--	--
Standart (μL)	--	20	20
Sobrenadante (μL)	1.0	1.0	1.0

9. Mezclar e incubar entre 5 y 30 minutos a 15 – 25°C.
10. Leer la absorbancia (A) del blanco, del standard y de las muestras frente al blanco de reactivo. La reacción es estable 30 minutos.

D. CÁLCULOS

$$\frac{A_{\text{Blanco}} - A_{\text{Muestra}}}{A_{\text{Blanco}} - A_{\text{STD}}} \times 150(\text{Conc. Patrón}) = \text{mmol/L de iones sodio}$$

Factor de conversión: $\text{mmol/L} = \text{mEq/L}$

3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.4.1 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

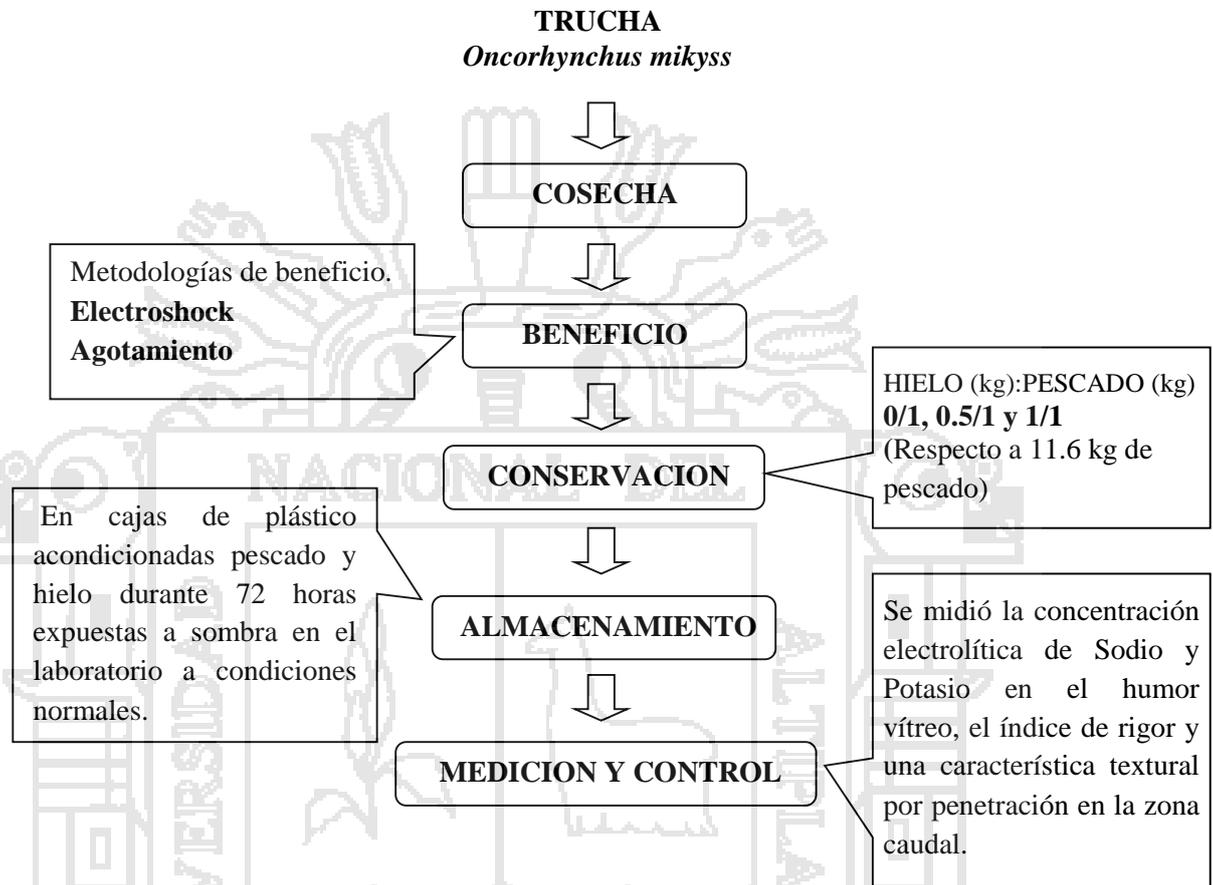


Figura 05. Flujo de la metodología experimental.

f) MATERIA PRIMA

Para realizar la presente investigación se utilizaron 234 unidades de trucha arco iris, criados en las jaulas artesanales de la Universidad Nacional del Altiplano, Centro de Investigación y Producción Pesquera - Chucuito, donde los peces son criados con alimento balanceado y tienen un control importante en todos los aspectos de crianza y manejo propios de esta industria.

g) BENEFICIO

En esta operación se dividieron en dos grupos de 117 unidades cada una para ser beneficiadas por electroshock y agotamiento.

Electroshock.- procedimiento planteado por Sánchez (2004), quien menciona que el mejor método de matanza se realiza por medio de un recipiente, protegido por una camisa plástica, electrificado a 110 – 220 voltios y 50 – 60 Mhz accionado por un pulsor que permite el paso de la corriente en forma de descarga, cada descarga debe tener una duración de 5 segundos.

Agotamiento.- Es un procedimiento de asfixia de los pescados, que consiste después de la cosecha de las jaulas son expuesto al aire natural, y los pescados lejos de su hábitat natural mueren lentamente a falta respiración normal, sufriendo además un alto grado de agotamiento en el proceso.

h) CONSERVACIÓN

Con el fin de aplicar las formas más comunes de conservación de pescados, se procedió a conservar en proporciones de hielo:pescado de 0/1, 0.5/1 y 1/1. Estos tratamientos de acuerdo a las proporciones fueron sin hielo, 6 kg y 12 kg de hielo en relación a 11.6 kg de truchas (39 unidades) para cada grupo de truchas beneficiadas por electroshock y agotamiento. Hasta esta operación se obtuvieron seis diferentes tratamientos.

i) ALMACENAMIENTO

Los pescados beneficiados fueron acondicionados en cajas de plástico acondicionadas junto con el hielo tal como se muestra en la figura 06. Y luego transportado a laboratorio de productos agropecuarios de la Escuela profesional de Ingeniería agroindustrial y fueron almacenados durante 72 horas postmortem.



Figura 06. Acondicionamiento de los pescados en cajas de plástico de acuerdo a los tratamientos.

j) CONTROL Y MEDICIÓN

El control y medición se efectuó para la determinación del índice de rigor, la textura y la concentración de los electrolitos de sodio y potasio del globo ocular. Los tiempos fueron controlados justo después de haber sido beneficiados (hora cero) luego se controló 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 12, 24, 36, 48, 60 y 72 horas para las determinaciones del índice de rigor, y, para las determinaciones de textura y concentración electrolítica se efectuaron en las horas 0, 12, 24, 36, 48, 60 y 72 horas después del sacrificio.

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

3.6.1. VARIABLE DE RESPUESTA

- a. Concentración de potasio en el humor vítreo (mml/l).
- b. Concentración de Sodio en el humor vítreo (mml/l).
- c. Distancia de Penetración en la zona caudal (dmm).
- d. Índice de rigor.

3.6.2. FACTORES Y NIVELES EN ESTUDIO

FACTORES	NIVELES
• Tipo de beneficio	Electroshock y Agotamiento
• Proporciones de Hielo (kg):Pescado (kg)	0/1 , 0.5/1 y 1/1
• Tiempo (horas)	
(Electrolitos)	0, 12, 24, 36, 48 y 60 (horas)
(Penetración)	0, 12, 24, 36, 48, 60 y 72 (horas)
(Índice de Rigor)	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 12, 24, 36, 48, 60 y 72

3.6.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Primera parte: Para determinar la diferencia o no de la variable cualitativa (tipo de beneficio) se ha utilizado el Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial $2*3*6$ para las mediciones de Potasio y Sodio, $2*3*7$ para las mediciones de penetrometría y $2*3*13$ para las determinaciones del índice de rigor, como lo recomienda Kuehl (2001) que el primer objetivo entre factores cualitativos y cuantitativos es conocer si la respuesta de los factores cuantitativos es diferente para cada nivel o categoría del factor cualitativo. Para medir la diferencia existente entre los tipos de beneficios se utilizó la Prueba de Duncan respectiva.

Segunda parte: La diferencia existente entre los tipos de beneficio estudiados nos permitió realizar el análisis de varianza por grupos según al tipo de beneficio al que fueron sometidos. Para estudiar simultáneamente los efectos de los factores cuantitativos (hielo y tiempo) se trabajó con el Diseño Completamente al Azar con Arreglo Factorial de $3*6$ para el Potasio, $3*7$ para las mediciones de penetrometría y $3*13$ para las determinaciones del índice de rigor.

Los cálculos y pruebas estadísticas tales como el Análisis de Varianza, prueba de Duncan y Análisis de Regresión Múltiple para determinar los coeficientes de la ecuación, se usó la herramienta estadística denominada SISTEMA DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO (SAS versión 9.2).

3.6.4. MODELO MATEMÁTICO

El análisis del experimento factorial con dos factores cuantitativos consiste de particiones polinomiales ortogonales de las sumas de cuadrados del efecto principal del factor y la interacción; la naturaleza de la función de respuesta polinomial se puede determinar a partir de estas particiones (Kuehl, 2001).

Con el fin de simplificar el análisis de tendencia se examinan los contrastes ortogonales entre los niveles de los factores de tratamiento que miden los efectos polinomiales lineal y cuadrático, ya que son válidos para espaciamentos iguales para cada factor (o niveles del factor) y el número de réplicas es el mismo para todos los tratamientos. Estos contrastes, conocidos como polinomios ortogonales (Tabla 04), permiten evaluar la importancia de cada componente polinomial en un caso específico. Se realizará la partición de la suma de cuadrados de los tratamientos, en un conjunto aditivo de suma de cuadrados con 01 grado de libertad para cada uno de los contrastes polinomiales ortogonales. En consecuencia, se examinará de manera secuencial la significancia de los términos lineal y cuadrático de cada factor y su interacción en el modelo presentado líneas abajo, para determinar que la ecuación polinomial se ajuste mejor.

La ecuación polinomial que relaciona el contenido de potasio en el humor vítreo o las mediciones de penetrometría con la proporción de hielo:pescado y las horas post mortem (variables cuantitativas), incluirán

solo los términos que se juzguen significativos en las pruebas de análisis de varianza.

$$Y = \beta_0 + \beta_1H + \beta_2H^2 + \beta_3T + \beta_4T^2 + \beta_5HT + \beta_6HT^2 + \beta_7H^2T + \beta_8H^2T^2$$

Donde:

β_0 = Intercepto

$\beta_{1...8}$ = Coeficientes de la ecuación

H = Hielo

T = Tiempo

TABLA 04. Polinomios ortogonales.

03 NIVELES		06 NIVELES		07 NIVELES	
Lineal	Cuadrática	Lineal	Cuadrática	Lineal	Cuadrática
-1	1	-5	5	-3	5
0	-2	-3	-1	-2	0
1	1	-1	-4	-1	-3
		1	-4	0	-4
		3	-1	1	-3
		5	5	2	0
				3	5

Fuente: Kuehl, 2001.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

4.1.1. ANÁLISIS PROXIMAL DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES

En la Tabla 05, se presentan los resultados de la composición química proximal de las unidades experimentales, tal composición se determinó de acuerdo a la metodología antes descrita.

Tabla 05. Composición porcentual química proximal de la trucha Arco Iris (*Orconhynchus mykiss*) entera.

Componentes	Porcentaje en base húmeda (%)
Humedad	59.80
Proteínas	20.90
Grasa	18.18
Cenizas	1.10
ELN ^b	0.02

Primo (1998), asegura que el contenido de humedad en la parte comestible de la trucha es de 75% hasta 80 % y León (2008) 70.13%, este último da el resultado más bajo de la bibliografía revisada, sin embargo los resultados del % de humedad en el presente trabajo es de 59.80% de humedad, esto podría ser resultado en influencia de las partes no comestibles (cabeza, aletas, huesos, vísceras y otros) que también fueron homogenizados previo al análisis proximal realizado, además Huss (1998), menciona que la composición química de los peces varía considerablemente entre las diferentes especies y también entre individuos de la misma especie, dependiendo de la edad, sexo, medio ambiente y estación del año. En el contenido de grasa los autores difieren considerablemente y presentan desde 1 – 1.5 % (Primo, 1998) hasta 7.22% (Flores, 2003), observándose otra clara diferencia con el 18.18% de grasas determinado en la presente investigación, esta diferencia también sería influenciado

^b ELN = Extracto libre de nitrógeno.

por los factores antes mencionadas ya que la trucha arco iris almacena grasa como reserva de energía en la parte superior o lomo, formando una estructura delgada larga que parte desde el inicio de la cabeza hasta el inicio de la cola, también podemos considerar lo mencionado por Huss (1998), que el contenido de lípidos entre los diferentes tejidos varía considerablemente siendo la piel, la cabeza y el tejido blanco los que mayor acumulación presentan.

4.2. CONTENIDO ELECTROLÍTICO DE POTASIO

4.2.1. POTASIO EN FUNCION AL TIPO DE BENEFICIO

Los resultados de las mediciones de potasio se presentan en el Anexo 01. El análisis de varianza (ver anexo 05) nos indica que estadísticamente existe diferencia altamente significativa ($P > 1\%$) entre los dos tipos de beneficios (Agotamiento y Electroshock).

De acuerdo a la Tabla 06 de comparaciones de la prueba de Duncan a un nivel de confianza del 95%, se observa que el Tipo de Beneficio por electroshock tiene menor concentración electrolítica de 125.25 mmol/l, frente al tipo de beneficio por agotamiento de media de 137.77 mmol/l, esta diferencia a favor de los beneficiados por agotamiento es atribuido al grado de agotamiento y/o sufrimiento durante la muerte del pescado que provoca un inicio de autólisis temprano y de mayor velocidad, tal como postula Huss, (1998) que la velocidad de degradación varía según el estado nutricional del pez y el grado de agotamiento al momento de la muerte, este proceso, es explicado por Tarr, citado por Massa, (2006) quien observó que cuando el músculo está sometido a un estrés intenso y la cantidad de oxígeno disponible no es suficiente para mantener la función mitocondrial, la glucólisis anaerobia es la que predomina, y en esta, se produce una degradación incompleta de los sustratos y la acumulación de lactato. Estos procesos provocan la disminución del pH con el consiguiente debilitamiento de la membrana lisosomal, liberando las catepsinas a los fluidos celulares (Massa, 2006), estos fenómenos hacen que el potasio presente en el citoplasma celular sean liberados a los fluidos extracelulares contaminándose también el humor vítreo. Por consiguiente, el tipo de beneficio que

mejor influencia tiene en la conservación de las truchas es el beneficio por electroshock.

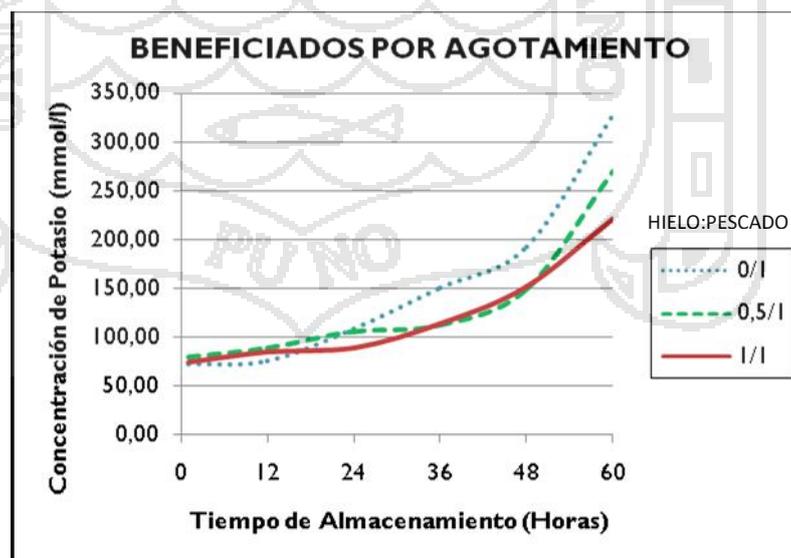
Tabla 06. Prueba de Duncan para el tipo de beneficio con las mediciones de potasio.

Agrupamiento Duncan	Media (mmol/l)	Número de observaciones	Tipo de beneficio
a	137.77	36	AGOTAMIENTO
b	125.25	36	ELECTROSHOCK

4.2.2. POTASIO EN LOS PESCADOS BENEFICIADOS POR AGOTAMIENTO EN FUNCION AL HIELO Y TIEMPO.

Los resultados de las concentraciones de potasio en el humor vítreo en función de la aplicación de hielo y tiempo se muestran en el gráfico 01, estas curvas muestran que a mayor tiempo transcurrido mayor concentración de Potasio y a mayor porcentaje de hielo menor variación en la concentración de Potasio.

Gráfico 01. Concentración de Potasio en el humor vítreo de truchas beneficiadas por agotamiento almacenadas durante 60 horas en tres proporciones de hielo.



El análisis de varianza (Anexo 09) nos indica que las dos variables Hielo (H) y Tiempo (T) son altamente significativos respecto al contenido de potasio del globo ocular en las truchas beneficiados por agotamiento, explicando así que, cualquier variación de la proporción del hielo o variación del tiempo influirá en la variación del potasio del humor vítreo de las truchas beneficiadas por agotamiento.

Tabla 07. Prueba de Duncan para las proporciones de hielo (peso de hielo/peso de truchas) en truchas beneficiadas por agotamiento con las mediciones de potasio (mmol/l).

Agrupamiento Duncan	Media (mmol/l)	Número de observaciones	Hielo:Pescado
a	153.12	12	0/1
b	136.94	12	0.5/1
b	123.25	12	1/1

En la prueba de Duncan de las proporciones de hielo, al 95% de confianza (ver Tabla 07), se muestra que el efecto de las proporciones hielo:pescado de 1/1 y 0.5/1, son iguales en la concentración de Potasio durante las 72 horas post mortem aun teniendo medias de 123.25 mmol/l y 136.94 mmol/l respectivamente, que son menores frente al efecto de la proporción 0/1 (sin hielo) que tiene una media de 153.12 mmol/l, esta diferencia a favor de los almacenados sin hielo es atribuido a la influencia del enfriamiento provocado por el hielo, dichos enfriamientos disminuyen la velocidad del proceso de autólisis y las concentraciones de potasio del humor vítreo, esto es coherente con los expresado por Sánchez (2005), quien menciona que las condiciones de refrigeración retardan la actividad enzimática, los cambios sensoriales y el crecimiento bacteriano; y Massa (2006), afirma que el pescado refrigerado es el que desde su captura es conservado en hielo en proporción de 1:1 hasta 1:4 respecto al pescado el cual se distribuye cubriendo todo el pescado con lo que se garantiza entre 1°C y 6 °C. Además Huss (1998) expresa, que las ventajas

prácticas de la utilización del hielo en la manipulación del pescado fresco están plenamente comprobadas.

Tabla 08. Prueba de Duncan para el tiempo en truchas beneficiadas por agotamiento con las mediciones de potasio (mmol/l).

Agrupamiento Duncan	Media (mmol/l)	Número de observaciones	Tiempo (horas)
a	275.31	6	60
b	168.00	6	48
c	123.41	6	36
d	101.31	6	24
e d	83.00	6	12
e	75.58	6	0

La prueba de Duncan para el tiempo (tabla 08) nos muestra que de las cero (0) horas hasta las 24 horas existe variación del contenido de potasio desde 75.58 mmol/l hasta 101.31 mmol/l (diferencia de 25.73 mmol/l) y que esta variación de la concentración iónica es más acelerada a partir de las 36 horas hasta las 60 horas que es de 123.41 mmol/l a 275.31 mmol/l (diferencia de 151.9 mmol/l), esto explica que, hasta las 24 horas (primera fase) el efecto del tiempo en la concentración del potasio en el humor vítreo es menor y que a partir de las 24 horas hasta las 60 horas (segunda fase), la variación de la concentración electrolítica es mayor en función del transcurso del tiempo. Este efecto del tiempo en dos fases puede ser atribuido a que en la primera fase (0 – 24 horas) se desarrollan procesos autolíticos propios del desequilibrio provocado por la muerte del pescado y estos procesos, cada vez mayores, eliminan los mecanismos naturales de defensa, y, en la segunda fase la proliferación bacteriana se torna cada vez más invasivo, tal como lo describe Huss (1998), que cuando el pez muere el sistema inmunológico colapsa y las bacterias proliferan libremente en la superficie de la piel, las bacterias colonizan en una amplia

extensión hasta la base de las escamas y durante el almacenamiento, las bacterias invaden el músculo penetrando entre las fibras musculares.

La interacción de H*T también es significativo (Anexo 09), el cual interpreta que la combinación de Hielo y Tiempo afecta directamente al contenido de Potasio. La variación de la concentración de potasio hasta la 24 horas es mínima y la influencia del hielo no es ampliamente distinguible, caracterizándose en este periodo concentraciones de potasio 101 mmol/l, sin embargo, en el periodo después a las 24 horas, la influencia del tiempo es mayor y del hielo mas notorio, llegando hasta las 60 horas a 328.43 mmol/l, 270.27 mmol/l y 222.17 mmol/l por influencia de las proporciones de 0/1, 0.5/1 y 1/1 respectivamente.

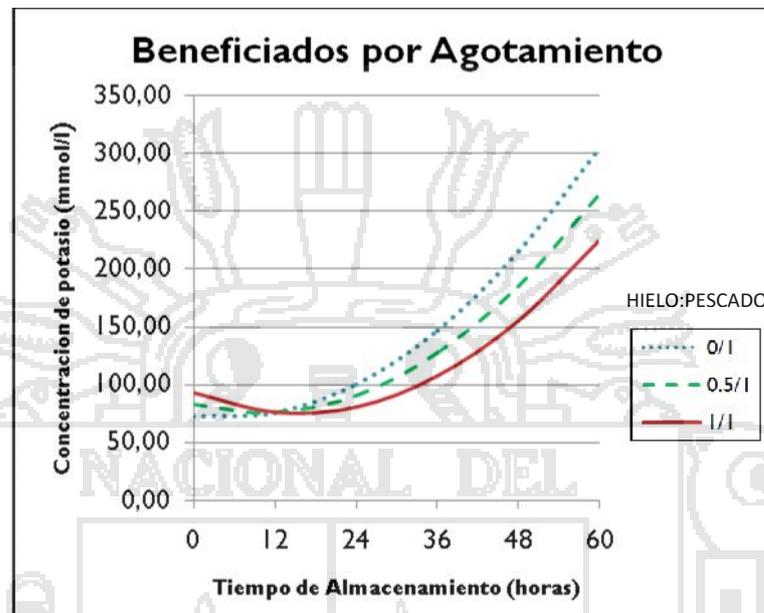
Para hallar la ecuación polinomial se identifican los efectos ortogonales altamente significantes en el análisis de varianza (anexo 09) en el cual: los efectos lineales del hielo y tiempo, el efecto cuadrático del tiempo y la interacción de los efectos lineales del hielo y tiempo son altamente significantes los que definirán al modelo matemático.

El modelo matemático ajustado que representa a los datos obtenidos es:

$$Y = 72.35952381 + 20.54523810H - 0.62066468T + 0.07497106T^2 - 1.68011905HT$$

Este modelo matemático permite inferir la concentración de potasio en el humor vítreo de la trucha, conociendo los valores de proporción de hielo:pescado y el tiempo transcurrido después de la muerte de una trucha. Los valores que permite inferir el modelo matemático presentado en el rango de 0 a 60 horas y 0/1 a 1/1 de hielo:pescado se presentan en el grafico 02.

Gráfico 02. Concentración de potasio en el humor vítreo, a partir del modelo encontrado para truchas beneficiadas por agotamiento y almacenadas a tres proporciones de hielo.

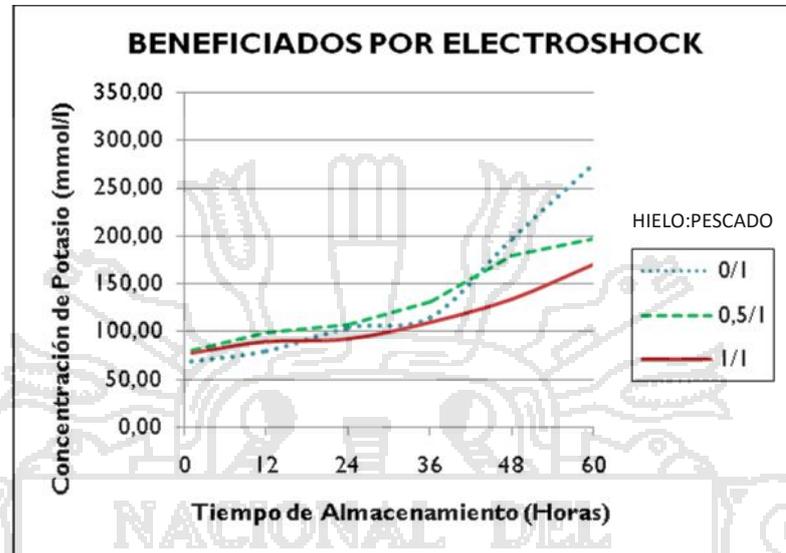


La historia *post mortem* de la aplicación de frío y tiempo transcurrido después del beneficio, es de gran interés para todo consumidor (final, intermedio, etc.). El modelo matemático expuesto, permite inferir al tiempo transcurrido después del beneficio, teniendo los datos de concentración de potasio del humor vítreo de las truchas beneficiadas por agotamiento.

4.2.3. POTASIO EN LOS PESCADOS BENEFICIADOS POR ELECTROSHOCK EN FUNCION AL HIELO Y TIEMPO.

Los resultados de las concentraciones de potasio en el humor vítreo de truchas beneficiadas por electroshock en función de la aplicación de hielo y tiempo se muestran en el Gráfico 03, estas curvas muestran con claridad que a mayor tiempo transcurrido mayor concentración de Potasio.

Gráfico 03. Concentración de Potasio en el globo ocular de truchas beneficiadas por electroshock y almacenadas a tres proporciones de hielo.



Las variables independientes de hielo y tiempo son altamente significativos en relación al contenido potásico del globo ocular como se visualiza en el valor de F del análisis de varianza (Anexo 10), para el caso de las truchas beneficiadas por electroshock, esto significaría que la variación de hielo y tiempo influiría en la concentración de potasio.

En la prueba de Duncan para las proporciones de hielo en truchas beneficiadas por electroshock (Tabla 09) los grupos almacenados en proporción de hielo 0/1 y 0.5/1 son iguales al 95% con medias de concentración iónica de 135.09 mmol/l y 128.3 mmol/l respectivamente y con una diferencia a favor del almacenamiento en proporción 0/1 de 6.79 mmol/l, esto nos demuestra que la influencia del la proporción del hielo 0.5/1 durante el almacenamiento no es muy diferente al de los almacenados sin hielo. Sin embargo la influencia de la proporción de hielo: pescado de 1/1 es diferente al de los almacenados sin hielo con una diferencia de 22.72 mmol/l a favor del almacenamiento sin hielo; estos resultados nos permiten concluir que la influencia del hielo en proporción 1/1 respecto al pescado es la mas optima, puesto que disminuye la variación de la concentración de potasio en el humor vítreo frente a los almacenados sin hielo. Valiente (2001)

asevera que el contenido óptimo de hielo en la mezcla de pescado debe ser cercano al 75%; el incremento de la cantidad desde 75% hasta 100% acelera el proceso de manera insignificante, mientras que un contenido de hielo de mas de 100%, respecto de la masa del pescado, no provoca alguna disminución perceptible de la duración de la refrigeración.

Tabla 09. Prueba de Duncan para las proporciones de hielo (peso de hielo/peso de truchas) en truchas beneficiadas por electroshock con las mediciones de potasio (mmo/l).

Agrupamiento Duncan	Media (mmo/l)	Número de observaciones	Hielo:Pescado
a	135.09	12	0/1
a	128.30	12	0.5/1
b	112.36	12	1/1

En la prueba de Duncan para el tiempo (tabla 10) se observa que la variación de la concentración de potasio con respecto a la hora cero (momento de muerte 69.75 mmol/l) aumenta en función al tiempo *post mortem* Aza – Gates, (1994) sostiene que existe un incremento en la concentración de potasio del humor vítreo relacionada con el transcurso del tiempo; hasta las 24 horas la concentración potásica alcanza una media 101.08 mmol/l y hasta las 60 horas una media de 208.983 mmol/l; esto nos permite distinguir la existencia de dos fases con clara diferencia, la primera hasta las 24 horas *post mortem* caracterizado por una variación reducida en función al tiempo y de poca diferencia de la influencia del hielo en proporciones (0/1, 0.5/1 y 1/1) y la segunda después de las 24 horas, donde la concentración del potasio se incrementa de forma mas acelerada en relación al tiempo ascendente y que la influencia del hielo es mas notorio de manera como se explica en la prueba de Duncan para el hielo (tabla 10), esto podría ser también atribuido a los efectos de la invasión microbiana ya que hasta las 36 horas se habrán

proliferado ampliamente. Estos resultados coinciden con la prueba de Duncan para el tiempo en truchas beneficiadas por agotamiento (ver sección 4.2.1.1 tabla 08)

Tabla 10. Prueba de Duncan para el tiempo post mortem con las mediciones de potasio (mmol/l) de truchas beneficiadas por electroshock.

Agrupamiento Duncan	Media	Número de observaciones	Tiempo
a	208.98	6	60
b	163.10	6	48
c	119.23	6	36
d	101.08	6	24
d	89.36	6	12
e	69.75	6	0

La interacción del Hielo y el Tiempo es altamente significativo esto hace referencia a que la concentración de potasio aumenta en función del tiempo y disminuye con la aplicación de hielo, ello estaría de acuerdo con lo encontrado por Mattioli *et al.* (2002) quien concluyó que el potasio aumenta en función del tiempo postmortem y de la temperatura de almacenamiento lo cual coincide con los mayores cambios autolíticos. Después a las 24 horas *post mortem* la influencia del hielo aplicados en proporción hielo:pescado 0/1, 0.5/1 y 1/1 se hace mas clara y diferenciada llegando hasta las 60 horas, a las concentraciones de 274.9 mmol/l, 196.97 mmol/l y 169.9 mmol/l de potasio respectivamente. El tiempo transcurrido después de la muerte de las truchas y la proporción de hielo aplicado previo almacenamiento, definen las variaciones del potasio en el humor vítreo.

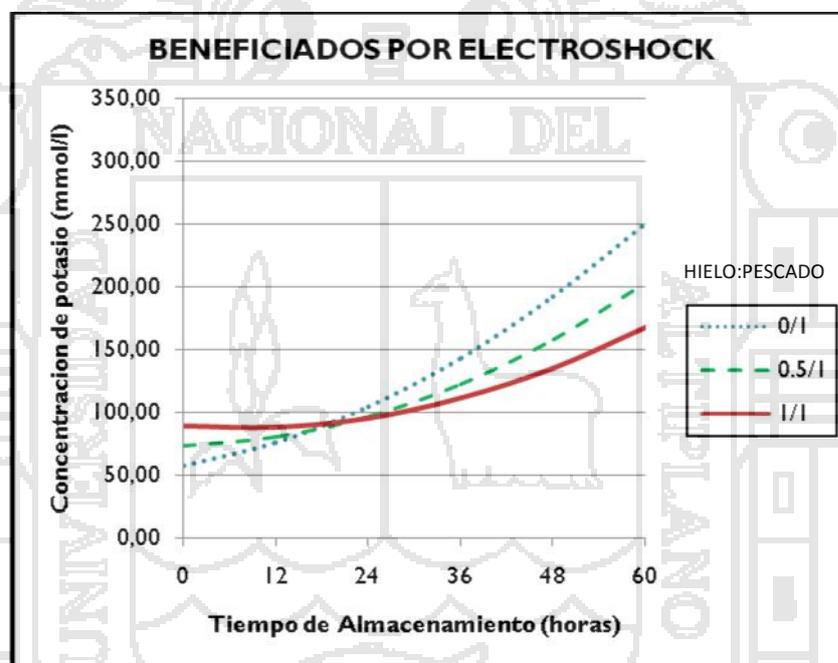
Para encontrar el modelo matemático por regresión multivariado se ha considerado los efectos lineales del tiempo (T) y hielo (H), cuadrático del tiempo (TT), y las interacciones de los efectos que son altamente significativos (Anexo 10),

por consiguiente se ha hallado la ecuación polinomial que nos muestra la diferencia de los efectos del hielo y el tiempo en la concentración de potasio (ver gráfico 04).

El modelo matemático ajustado es el siguiente:

$$Y = 57.92839196 + 31.94797799 H + 1.14265195 T + 0.03461030 T^2 - 2.33374192 H * T + 0.76226849 H^2 * T - 0.00570362 H^2 * T^2$$

Gráfico 04. Comportamiento en el tiempo de la concentración de potasio en el humor vítreo, a partir del modelo encontrado para truchas beneficiadas por electroshock.



En las tablas 08 y 10 de las pruebas de Duncan para el tiempo en truchas beneficiadas por agotamiento y electroshock se observa la igualdad que hasta las 24 horas la variación de la concentración del potasio en el humor vítreo es menor igual que 101 mmol/l, esta característica nos permite entender que la concentración potásica varía indiferentemente al hielo y el tipo de beneficio hasta las 24 horas.

4.3. CONTENIDO ELECTROLÍTICO DE SODIO EN FUNCION AL TIPO DE BENEFICIO, HIELO Y TIEMPO

En el anexo 02 se muestran los resultados de la concentración de Sodio (mmol/l), en el análisis de varianza de estos resultados (ver anexo 06) observamos que los factores tipo de beneficio y hielo (en proporciones) no son significativos, esto indica que el beneficiado de las truchas por agotamiento y electroshock son estadísticamente iguales y no tienen influencia diferente en la concentración de sodio del humor vítreo, así también, el almacenamiento de las truchas en proporción de hielo:pescado 0/1, 0.5/1 y 1/1 no tienen efectos diferentes en la concentración de sodio. El factor tiempo es significativo sin embargo cada una de las interacciones de los tres factores no lo son, esto revela que las concentraciones de sodio en el humor vítreo de las truchas no es influenciado por el tipo de beneficio, ni el hielo aplicado en el almacenamiento y ni aun por el tiempo. Esto también se evidencian claramente en los gráficos 05 y 06, donde se muestran en diagrama de dispersión los resultados obtenidos en laboratorio, en ellos, vemos que los resultados se presentan en un rango de 50.5 – 251 mmol/l para el grupo de truchas beneficiadas por agotamiento y 92.2 – 219.2 mmol/l para el grupo de truchas beneficiadas por electroshock, mostrándose que aun entre las muestras de repetición existe amplia variación; asimismo se observa que el 94.4% de los datos se encuentran ampliamente dispersos en el rango de 100 – 200 mmol/l, tal fenómeno particular del sodio explicaría el $R^2= 64.22\%$ y el $CV=18.31$ del análisis de varianza (Anexo 06).

Este comportamiento hasta las 60 horas *post mortem* del sodio en la presente investigación, nos permite afirmar que el sodio en el humor vítreo de la trucha arco iris presenta valores inestables y variados en función al tiempo, tipo de beneficio y aplicaciones de hielo, esto puede ser explicado por Aza – Gates, (1994) quien postula que el Sodio no está homogéneamente distribuido en toda la estructura del humor vítreo y no es adecuado para el control en el periodo post mortem.

Gráfico 05. Concentración de sodio del humor vítreo en función al tiempo y hielo determinados en truchas beneficiadas por Agotamiento en diagrama de dispersión.

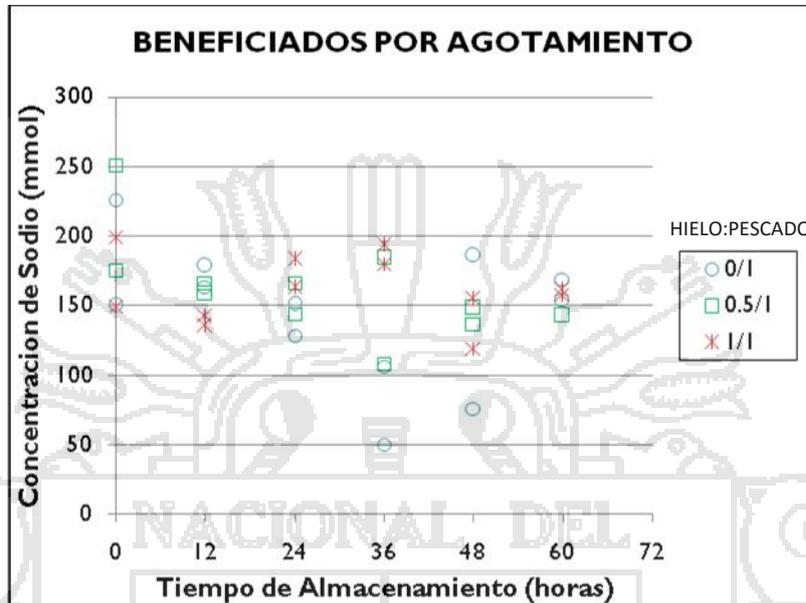
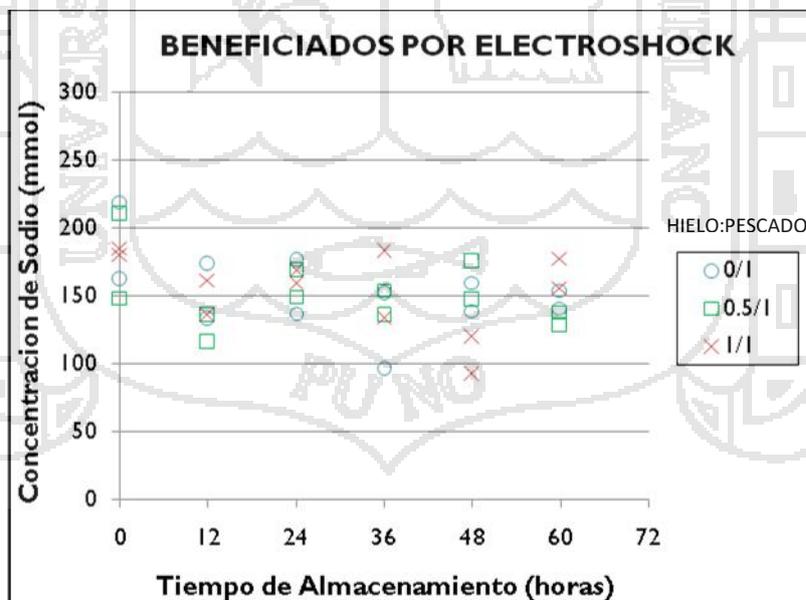


Gráfico 06. Concentración de sodio del humor vítreo en función al tiempo y hielo determinados en truchas beneficiadas por Electroshock en diagrama de dispersión.



4.4. CARACTERÍSTICAS TEXTURALES DE LAS TRUCHAS

4.4.1. PENETRACIÓN EN FUNCION AL TIPO DE BENEFICIO

Los resultados de las distancias de penetración medidos en la región caudal, obtenidos en el laboratorio se presentan en el Anexo 03, y en el anexo 07 se presenta el respectivo análisis de varianza el cual nos indica que estadísticamente existe diferencia significativa ($P > 0.05$) entre los dos tipos de beneficios (Agotamiento y Electroshock).

La Prueba de Duncan, con nivel de significancia del 95%, para el Tipo de Beneficio con las mediciones de Distancia de Penetración (ver tabla 13) nos muestra que estas dos variables cualitativas son estadísticamente diferentes con medias de 35.36 dmm y 35.85 dmm, con diferencia a favor de las truchas beneficiadas por agotamiento que indica que las truchas beneficiadas por agotamiento provocan mayor pérdida de dureza que se ve en la mayor distancia de penetración frente a truchas beneficiadas por electroshock. Como se ha mencionado en la sección 4.2.1., el agotamiento en el momento de muerte produce mayores cambios autolíticos en el periodo post mortem, tal como también menciona Huss (1998), que la velocidad de degradación varía según el estado nutricional del pez y el grado de agotamiento al momento de la muerte, y que para la mayoría de los peces teleósteos, la glucólisis anaeróbica es la única ruta posible para la producción de energía en cuanto el corazón deja de latir, y este proceso más ineficiente, genera principalmente ácido láctico y ácido pirúvico como productos finales. Además Faergemand *et. al.* Afirma que el descenso del pH del musculo de las especies pesqueras en el periodo *post mortem*, tiene un efecto determinante en la calidad ya que afecta a las propiedades físicas de la carne resultando un indicador de textura perceptible en efectos del tiernizado; sobre ello Cheret *et al.*, (2005) sostiene que los posibles mecanismos que pueden explicar los procesos de alteración relacionados con los cambios en la textura, en el almacenamiento y el transporte son: la degradación enzimática de algunos componentes de las miofibrillas y del tejido conectivo, y la separación de los espacios intercelulares que permiten que se mantenga una estructura organizada y estable en los componentes musculares. Por lo tanto, a mayor penetración mayor el

grado de deterioro presente en el musculo del pescado, traducidos en la disminución de textura por pérdida de dureza; en consecuencia el beneficio de las truchas por electroshock produce menor grado de deterioro textural en relación al beneficio por agotamiento.

Tabla 11. Prueba de Duncan para el tipo de beneficio con las mediciones de penetración (dmm).

Agrupamiento Duncan	Media (dmm)	Número de observaciones	Tipo de beneficio
a	37.36	63	AGOTAMIENTO
b	35.84	63	ELECTROSHOCK

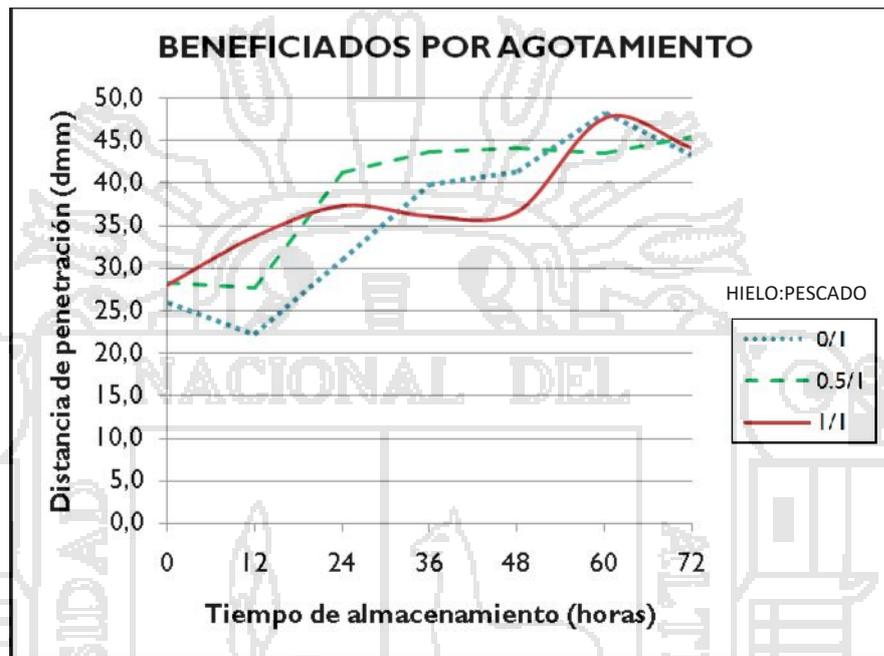
4.4.2. MEDICIONES DE PENETRACIÓN EN LAS TRUCHAS BENEFICIADAS POR AGOTAMIENTO EN FUNCION AL HIELO Y TIEMPO.

La distribución en el tiempo para los resultados promediados de las mediciones de penetración de la zona caudal se muestra en el Gráfico 07, en el cual se observa curvas ascendentes en relación al tiempo transcurrido con una mayor distancia de penetración.

En el análisis de varianza para el presente grupo de datos (anexo 11) la variable Hielo no es significativo, esto indica que estadísticamente las mediciones de penetración no son sensibles al efecto de las proporciones de hielo:pescado respecto al peso de las truchas (1/1, 0.5/1 y 0/1), contrario a lo observado en las concentraciones de potasio. Sin embargo Charm *et al.*, citado por Huss (1998) expresa que el efecto de las condiciones de tiempo/temperatura de almacenamiento sobre la duración en almacén del producto es acumulativo, pero Alvarado y Aguilera (2001), afirman que las pruebas empíricas son las mas utilizadas en la industria, sin embargo, los resultados obtenidos son validos solamente para ese instrumento y no pueden extrapolarse a otro sistema de medida. Entonces, la metodología de penetración de la presente investigación es una metodología que no diferencia entre

truchas almacenadas sin hielo y con hielo (0.5/1 y 1/1), previamente beneficiadas por agotamiento.

Gráfico 07. Mediciones de penetración (dmm) de la región caudal de truchas beneficiadas por agotamiento en función al tiempo y aplicación de hielo.



Para el factor tiempo, el análisis de varianza (Anexo 11) muestra que es altamente significativo, lo que nos indica que para cada cambio de tiempo cambiará las distancias de penetración, y observando el gráfico 07 podemos explicar que las distancias de penetración incrementan en función al transcurso del tiempo. En la prueba de Duncan con nivel de significancia del 95 % (tabla 12) se observa que hasta las 48 horas las distancias de penetración se incrementan con rapidez, frente a la variación en el lapso de las 48 a 72 horas donde los incrementos disminuyen con el transcurso del tiempo. Estos fenómenos de variación de la dureza del músculo pueden ser explicados por lo expresado por Faergemand *et al.*, (1995), quien menciona que el músculo de pescado generalmente se ablanda durante el almacenamiento en hielo; además Ando *et al.* (1991), afirma que esta pérdida ha sido atribuida principalmente a la degradación enzimática de las proteínas del colágeno y de las proteínas miofibrilares; y Cheret *et al.* (2005), observaron que la degradación

de las proteínas del citoesqueleto es la principal responsable del tiernizado del pescado.

Tabla 12. Prueba de Duncan para el tiempo con las mediciones de penetrometría (dmm) para truchas beneficiadas por agotamiento.

Agrupamiento Duncan	Media (dmm)	Número de observaciones	Tiempo (horas)
a	46.50	9	60
b a	44.33	9	72
b	41.00	9	36
b	40.72	9	48
c	36.55	9	24
d	29.11	9	12
e	23.31	9	0

Para hallar la ecuación polinomial que expresan los resultados obtenidos en laboratorio se calculan por regresión multivariado y análisis de los efectos lineal y cuadrático de los factores; solo los efectos lineal y cuadrático del factor tiempo son altamente significativos (ver anexo 11), por ello en la ecuación resultante no se ha considerado a la variable Hielo.

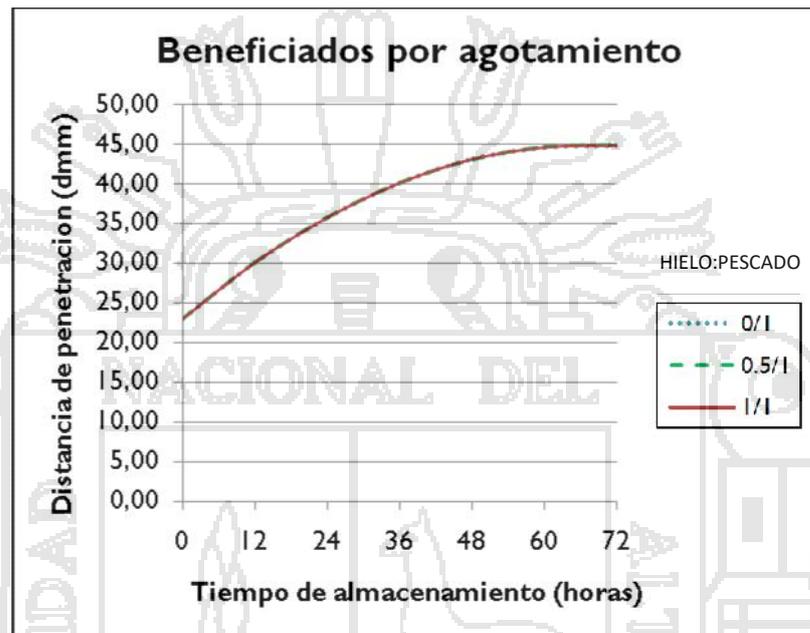
El modelo matemático ajustado acorde a los datos obtenidos es el siguiente:

$$Y = 23.00291005 + 0.64652778 T - 0.00476282 T^2$$

El modelo matemático permite explicar las variaciones ascendentes de las mediciones de penetración en relación al tiempo transcurrido, sin embargo las

diferentes aplicaciones de proporciones de hielo no muestran ningún efecto estadístico como se demuestra en el gráfico 08.

Gráfico 08. Distancia de penetración (dmm) en la zona caudal, a partir del modelo encontrado para truchas beneficiadas por agotamiento.

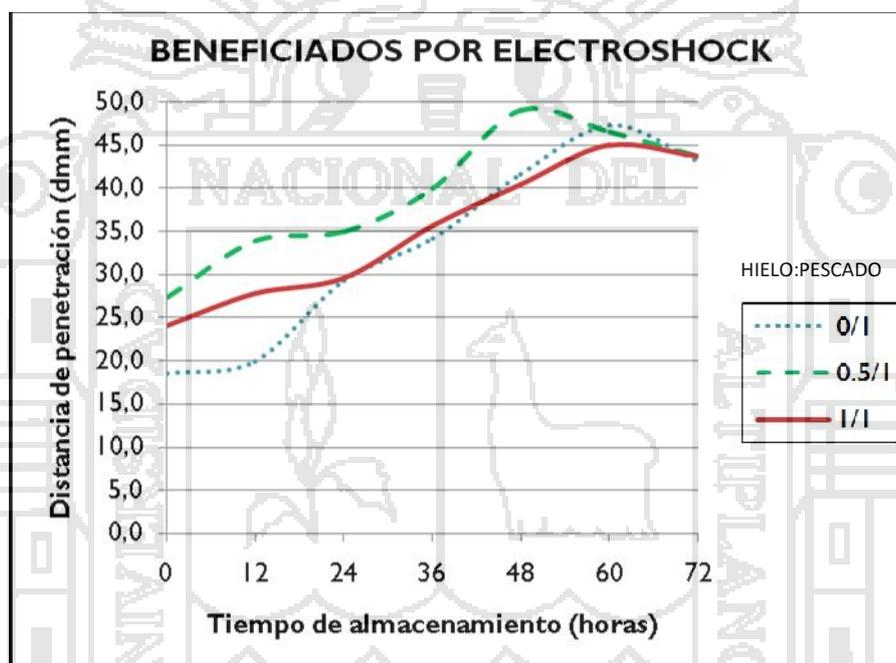


El modelo matemático expuesto deja notar que a partir de las 60 horas el comportamiento deja de ser ascendente y se hace constante, además presenta idéntica variación entre los almacenados sin hielo, hasta los de proporción 1/1 de hielo/pescado.

4.4.3. DISTANCIA DE PENETRACIÓN EN LAS TRUCHAS BENEFICIADAS POR ELECTROSHOCK EN FUNCION AL HIELO Y EL TIEMPO

El gráfico 09 muestra la distribución de las mediciones de penetración en función al tiempo y el hielo; la expresión en la tendencia es que a mayor tiempo transcurrido mayor es la distancia de penetración.

Gráfico 09. Mediciones de penetración (dmm) de la región caudal de truchas beneficiadas por electroshock en función al tiempo y aplicación de hielo.



La prueba de Duncan con nivel de significancia del 95 % para las proporciones de hielo (Tabla 13), presentan que las mediciones de penetración de los del grupo almacenados en proporción de hielo 0.5/1 tienen una de media estadística de penetración mayor frente a los almacenados en hielo 1/1 y sin hielo. Este comportamiento particular puede ser explicado por factores no considerados ni evaluados en la presente investigación tal como lo menciona Massa (2006), que otro importante evento que afecta la dureza de la carne de pescado durante el almacenamiento es el crecimiento de microorganismos deteriorantes. Así también

podemos considerar que los microorganismos se desarrollan de distintas formas aún con pequeñas diferencias a los cuales son expuestas.

Tabla 13. Prueba de Duncan para la proporciones de hielo en truchas beneficiadas por electroshock con los datos de las mediciones de penetración (dmm).

Agrupamiento Duncan	Media (dmm)	Número de observaciones	Hielo:Pescado
a	38.85	21	0.5/1
b	35.21	21	0/1
b	33.46	21	1/1

Tabla 14. Prueba de Duncan para el tiempo en truchas beneficiadas por electroshock con los datos de mediciones de penetración (dmm).

Agrupamiento Duncan	Media (dmm)	Número de observaciones	Tiempo (horas)
a	46.27	9	60
a	43.72	9	48
a	43.50	9	72
b	36.61	9	36
c	31.33	9	24
d	27.222	9	12
e	22.256	9	0

De los resultados estadísticos (anexo 12 y tabla 14) se desprende que el tiempo es una variable que afecta directamente en la variación de la alteración del músculo medido por la dureza en razón de la penetración, en la prueba de Duncan

(tabla 14) se muestra que hasta la 36 horas las mediciones de penetración varían de forma ascendente y a partir de las 48 horas son estadísticamente constantes. Este fenómeno es explicado por las variaciones endógenas como la presencia de enzimas proteolíticas como las catepsinas lisosomales, que degradan las líneas Z, y actúan sobre la actina miosina, troponina-T y desmina (Ladrat *et al.*, 2003; Ayala *et al.*, 2006); ya que al romperse el equilibrio de la vida al momento de su beneficio, los procesos fisiológicos celulares son alterados.

En el análisis de varianza de este grupo de datos (Anexo 12), muestra que el hielo y tiempo son altamente significativos y las interacciones de H*T resultan ser no significativos.

Para encontrar el modelo matemático por regresión multivariado se identificaron los efectos altamente significativos: Tiempo lineal y cuadrático, hielo cuadrático y la interacción lineal del hielo y tiempo, los cuales definen el comportamiento de la variación de las mediciones de penetración.

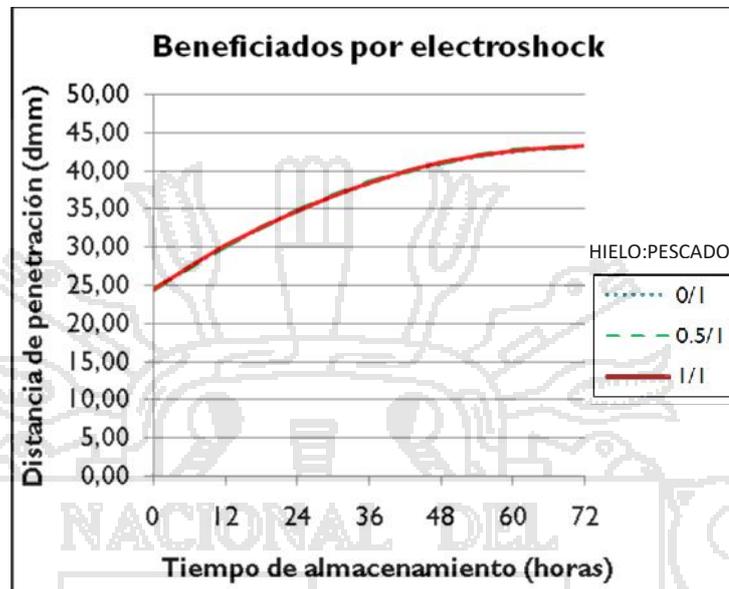
Acorde al análisis estadístico el modelo que se ajusta e es el siguiente:

$$Y = 24.53534999 - 0.00083477H^2 + 0.51452153T - 0.00354112T^2 + 0.00160838T*H$$

En el gráfico 10 se observa que el modelo matemático explica las variaciones ascendentes frente al tiempo, pero no es sensible a las proporciones de hielo aplicados en la presente investigación.

El modelo matemático de este grupo de datos tiene características similares al modelo matemático para pescados beneficiados por agotamiento (ver sección 4.2.3.1), con la diferencia de que el rango de variación hasta las 72 horas es de 18.74 dmm para truchas beneficiadas por electroshock y 21.86 dmm para el grupo beneficiados por agotamiento.

Gráfico 10. Distancia de penetración (dmm) en la zona caudal, a partir del modelo encontrado para truchas beneficiadas por electroshock.



Además los procesos de variación también puede ser influenciados por la condición de crianza y el tipo de alimentación que tuvieron los peces; Tachibana *et al.*, (1993), menciona que el ablandamiento sucede, más temprano en especies de cultivo que en individuos de la misma especie provenientes de ambiente natural y Ando *et al.* (1991) describe que los peces de cultivo bien alimentados tienen una tasa de rotación de proteína o *turnover* mucho más elevada que peces de ambiente natural, situación que podría originar una actividad de proteólisis elevada en el músculo de los peces de cultivo.

De la observación de resultados en las tablas 14 y tabla 17 se desprende que los tipos de beneficio tienen efecto en la textura, cuyos valores cuantificables son medidos a partir de la dureza interpretada por los resultados de penetración en dmm obtenidos en laboratorio. Para tiempos de 24 horas con beneficio de agotamiento se obtiene una media de 36.55 dmm de penetración que en relación a los datos obtenidos del beneficio por electroshock a las 36 horas se tiene una media de penetración de 36.61 dmm, poniendo de manifiesto la acción diferencial del tipo de beneficio como resultado en la textura en relación al tiempo transcurrido.

4.5. INDICE DE RIGOR DE LA TRUCHA

4.5.1. INDICE DE RIGOR EN FUNCION AL TIPO DE BENEFICIO

Los resultados de las mediciones de índice de rigor se presentan en el Anexo 04 y su respectivo análisis de varianza en el anexo 08, en ella, nos indica que estadísticamente existe diferencia significativa ($P > 0.05$) entre los dos tipos de beneficios (Agotamiento y Electroshock), y para evaluar esta diferencia realizamos la prueba de Duncan a dicho factor en estudio.

Tabla 15. Prueba de Duncan para el tipo de beneficio con las mediciones de índice de rigor.

Agrupamiento Duncan	Media (índice de rigor)	Número de observaciones	Tipo de beneficio
A	49.83 %	117	AGOTAMIENTO
B	45.40 %	117	ELECTROSHOCK

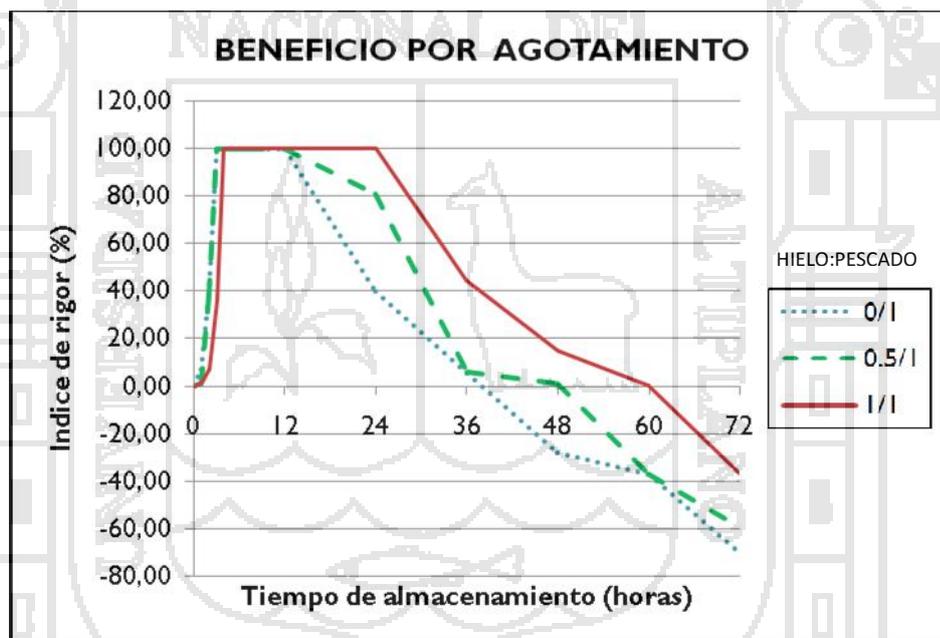
En la Tabla 15 se muestra la prueba de Duncan para la variable tipo de beneficio a un nivel de confianza del 95%, en este análisis se observa que el grupo de truchas beneficiadas por agotamiento tiene una media de 49.83% índice de rigor y los beneficiados por electroshock de 45.40%, existiendo una diferencia a favor del grupo de truchas beneficiadas por agotamiento los cuales presentaron mayor rapidez en los cambios sensoriales de pre-rigor, rigor mortis y resolución del rigor (ver gráfico 11), frente a los beneficiados por electroshock (ver gráfico 12), dichos fenómenos que se desarrollan coinciden con lo expresado por Huss, (1998) que el método empleado para aturdir y sacrificar el pez también influye en el inicio del *rigor*, ya que el mismo, se inicia inmediatamente o poco después de la muerte en el caso de peces hambrientos y cuyas reservas de glucógeno están agotadas, o en peces exhaustos. El excesivo consumo de energía durante el agotamiento disminuye rápidamente el ATP (principal fuente de energía) a $< 1 \mu\text{mol/g}$ de músculo el cual lleva al pescado a contraerse. Cuando las truchas son beneficiadas por electroshock

se minimiza el grado de agotamiento del momento de muerte el cual constituye la principal diferencia frente a las truchas beneficiadas por agotamiento.

4.5.2. ÍNDICE DE RIGOR EN TRUCHAS BENEFICIADAS POR AGOTAMIENTO EN FUNCION AL HIELO Y TIEMPO.

El gráfico 11 expone los resultados de manera general de este grupo de datos en el cual se observan curvas características del índice de rigor los cuales están comprendidos por tres etapas Pre rigor, Rigor completo y Resolución del Rigor.

Gráfico 11. Curvas de índice de rigor en relación al tiempo en truchas beneficiadas por agotamiento y almacenadas en tres proporciones de hielo.



En la prueba de Duncan (95%) para las proporciones de hielo (ver tabla 20) se observa que el hielo tiene influencia proporcional, a mayor aplicación de hielo (en proporciones) mayor demora en el tiempo para la instauración y duración de la rigidez cadavérica completa y viceversa. En el gráfico 11 se observa que la instauración del rigor mortis del 100% es a las tres horas (03) después del momento de muerte, en las truchas almacenadas a proporción de pescado/hielo 1/0 y 1/0.5; y el de proporción 1/1 demora hasta la cuarta hora (04), estos resultados estarían acorde a

las declaraciones de: Massa (2006) afirma que el efecto de la temperatura sobre el rigor no es uniforme y que en pescados exhaustos la fase de rigor pasa rápidamente, Huss (1998) indica por lo general se acepta que el comienzo y la duración del rigor en pescados resultan mas rápidos a mayor temperatura exceptuando a los pescados de aguas tropicales, y Agüeria *et al.* (2004) observaron que en el pejerrey (*Adontesthes bonariensis*) la instauración de la rigidez cadavérica ocurrió después de un hora de su captura por arrastre. La rápida instauración del rigor mortis presenta dificultades para los tecnólogos o procesadores ya que el rendimiento de fileteado resulta muy bajo y una manipulación puede causar desgajamiento durante el rigor (Huss, 1998). En estas condiciones de manejo, las truchas almacenadas en proporción de hielo 1/1 permiten tener el mayor tiempo para fileteado (4 horas) antes de llegar a la rigidez cadavérica completa.

Tabla 16. Prueba de Duncan para las proporciones de hielo (0/1, 0.5/1 y 1/1) con los resultados del índice de rigor, en truchas beneficiadas por agotamiento.

Agrupamiento Duncan	Media	Número de observaciones	Hielo:Pescado
a	52.96 %	39	1/1
b a	51.24 %	39	0,5/1
b	45.31 %	39	0/1

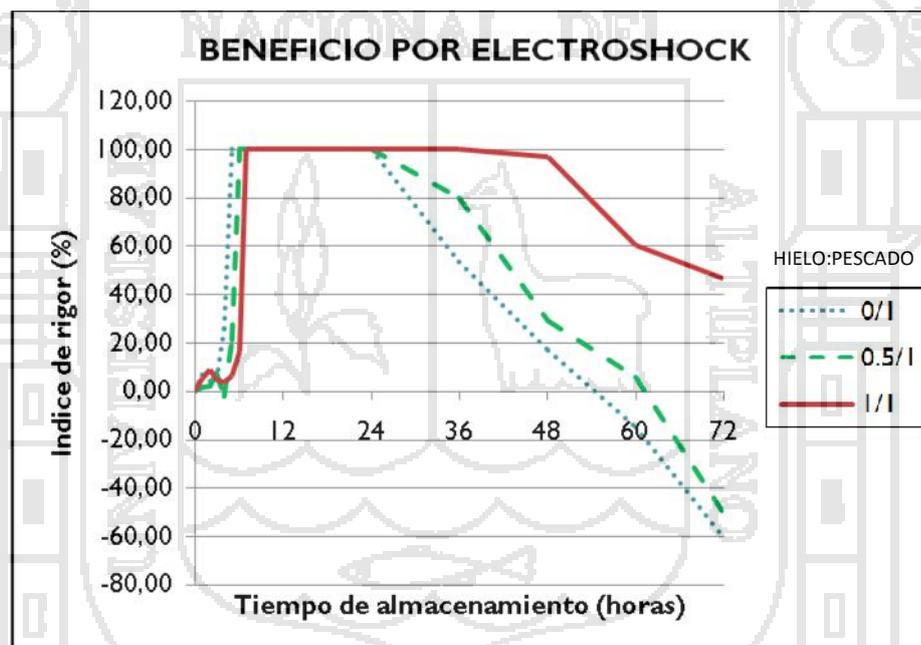
Posterior el endurecimiento muscular, se observa un periodo caracterizado por la disminución del índice de rigor, definido como resolución del rigor mortis, manifestándose después de las 12 horas en las truchas almacenadas sin hielo y a proporción de hielo 0.5/1, en estos dos grupos la resolución es acelerada frente a los del grupo almacenados en proporción de hielo 1/1, y que además, el inicio de su resolución es a partir de las 24 horas, esto puede ser refrendada por Huss(1998), quien indica que la proporción entre el comienzo y la resolución del rigor varía según la especie y es afectada por la temperatura, la manipulación, el tamaño y las

condiciones físicas del pescado y que en pescados exhaustos o fatigadas, como especies capturadas por arrastre, la fase de rigor pasa rápidamente.

4.5.3. ÍNDICE DE RIGOR EN TRUCHAS BENEFICIADAS POR ELECTROSHOCK EN FUNCION AL HIELO Y TIEMPO

Las curvas expuestas en el gráfico 12 muestran el comportamiento del índice de rigor en distintos periodos de tiempo y según los tratamientos de hielo (0/1, 0.5/1 y 1/1) para las truchas beneficiadas por electroshock.

Gráfico 12. Curvas de índice de rigor en relación al tiempo en truchas beneficiadas por electroshock y almacenadas en tres proporciones de hielo.



La prueba de Duncan (tabla 21) nos dice que el índice de rigor en los tratamientos de sin hielo y con hielo (0.5/1) son al 95% iguales con medias 42.60 % 41.87 % de índice de rigor respectivamente y diferentes del grupo de truchas almacenadas en proporción hielo:pescado 1/1 que tiene una media de 51.73% de índice de rigor. Dado las tres fases características del periodo *post mortem*, las fases de pre-rigor, rigor mortis y resolución del rigor, es siempre igual para los tres tratamientos, la diferencia se observa en la demora o rapidez como se desarrollan en

función al tiempo. La instauración del rigor mortis en las truchas almacenadas a proporción de pescado/hielo 1/0, 1/0.5 y 1/1, alcanzan el 100% de índice de rigor a las 5, 6 y 7 horas respectivamente (ver gráfico 12), estos resultados coincidirían con lo mencionado por Massa (2006), que el tiempo entre el inicio y la resolución del rigor mortis dependen de diversos factores, tales como la especie, la talla, las condiciones fisiológicas antes del sacrificio, la forma del sacrificio, la manipulación y la temperatura de almacenamiento. La demora de la instauración del rigor mortis por ausencia de agotamiento durante la captura y sacrificio e inmediato almacenamiento en frío, también fueron observados en otras especies, como lo expresa Tomé *et al.*, (2000) que en tilapias (*Oreochromis spp.*) capturadas con chinchorro y sacrificadas por incisión cerebral almacenadas a 0°C alcanzaron el 100% de rigor después de 24 horas; y Proctor *et al.*, (1992) observó que un golpe en la cabeza proporciona una demora de hasta 18 horas.

Tabla 17. Prueba de Duncan para las proporciones de hielo (0/1, 0.5/1 y 1/1) con los resultados del índice de rigor, en truchas beneficiadas por electroshock.

Agrupamiento Duncan	Media	Número de observaciones	Hielo:Pescado
a	51.73 %	39	1/1
b	42.60 %	39	0/1
b	41.87 %	39	0,5/1

La duración de la rigidez cadavérica por efecto del presente tratamiento son periodos más largos respecto a los resultados de los beneficiados por agotamiento, dándose el periodo más largo en los almacenados en proporción pescado/hielo de 1/1 que llegan hasta las 40 horas. Las truchas almacenadas sin hielo y en proporción pescado/hielo de 1/0.5 tienen una duración del 100% de índice rigor, hasta 24 horas donde comienza la fase de resolución de rigor. La resolución del rigor mortis completa no se observó en las truchas almacenadas con hielo en proporción 1/1, tal

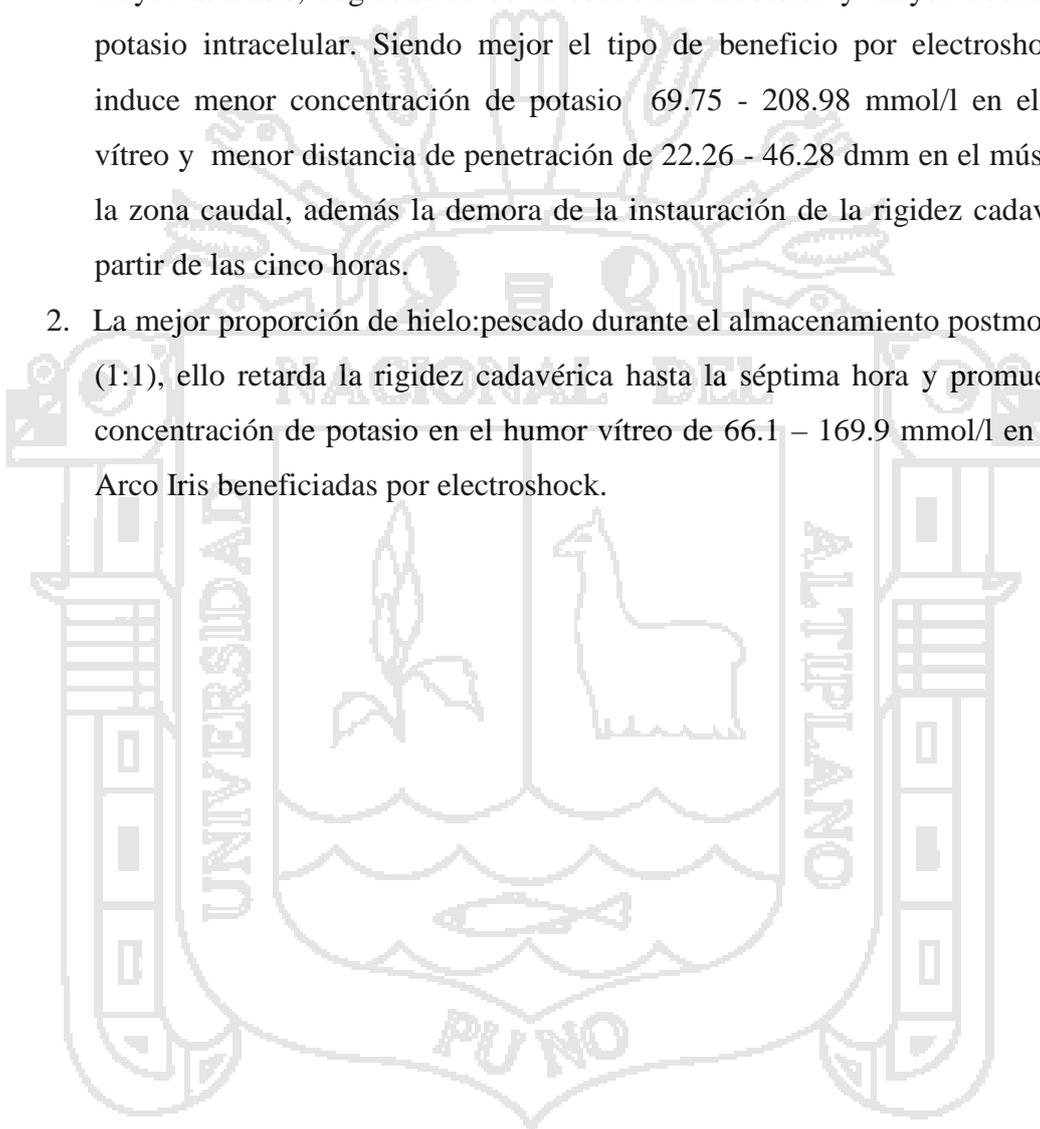
comportamiento no ocurrió en ninguno de los demás tipos de almacenamiento (ver gráfico 12).

El significado tecnológico del rigor mortis es de mayor importancia cuando el pescado es fileteado antes o durante el rigor. Durante el rigor el cuerpo del pescado está completamente rígido; el rendimiento del fileteado resulta muy bajo y una manipulación tosca puede causar el desgarramiento de los filetes. Si los filetes son removidos del hueso antes del rigor, el músculo puede contraerse libremente y se encogerá al comenzar el rigor (Huss, 1998), el tratamiento de beneficiado por electroshock y almacenado en proporción de hielo 1/1 presenta mayor demora de la rigidez cadavérica total (07 horas) frente a los otros tratamientos, su aplicación contribuye a la mejor calidad tecnológica para truchas destinadas a procesamiento en planta, permitiendo hasta la séptima hora *post mortem*, condiciones físico sensoriales que no comprometan el rendimiento ni la calidad de los productos finales.

De las experiencias obtenidas en el proceso de laboratorio, la metodología propuesta por Bito *et al.* (1983), para la medición del índice de rigor, exige tener muestras que sean fenotípicamente homogéneas, esta exigencia no es objetiva ya que la variación de las tallas de cada trucha serán normales, aun cuando se tengan muestras que provienen de una población bajo crianza y hábitat iguales a ello atribuimos el $CV=29.31$ del análisis de varianza aun teniendo un $R^2=95.05\%$ (Anexo 08). Por estas razones se sugiere mejorar la metodología, en una que no exija muestras fenotípicas iguales.

V. CONCLUSIONES

1. El tipo de beneficio por agotamiento induce en el humor vítreo mayores concentraciones de potasio, acelera los fenómenos del rigor mortis y provoca mayor grado de penetración del tejido muscular, por la consecuencia de la mayor autólisis, degradación de la estructura muscular y mayor liberación de potasio intracelular. Siendo mejor el tipo de beneficio por electroshock que induce menor concentración de potasio 69.75 - 208.98 mmol/l en el humor vítreo y menor distancia de penetración de 22.26 - 46.28 dmm en el músculo de la zona caudal, además la demora de la instauración de la rigidez cadavérica a partir de las cinco horas.
2. La mejor proporción de hielo:pescado durante el almacenamiento postmortem es (1:1), ello retarda la rigidez cadavérica hasta la séptima hora y promueve una concentración de potasio en el humor vítreo de 66.1 – 169.9 mmol/l en truchas Arco Iris beneficiadas por electroshock.



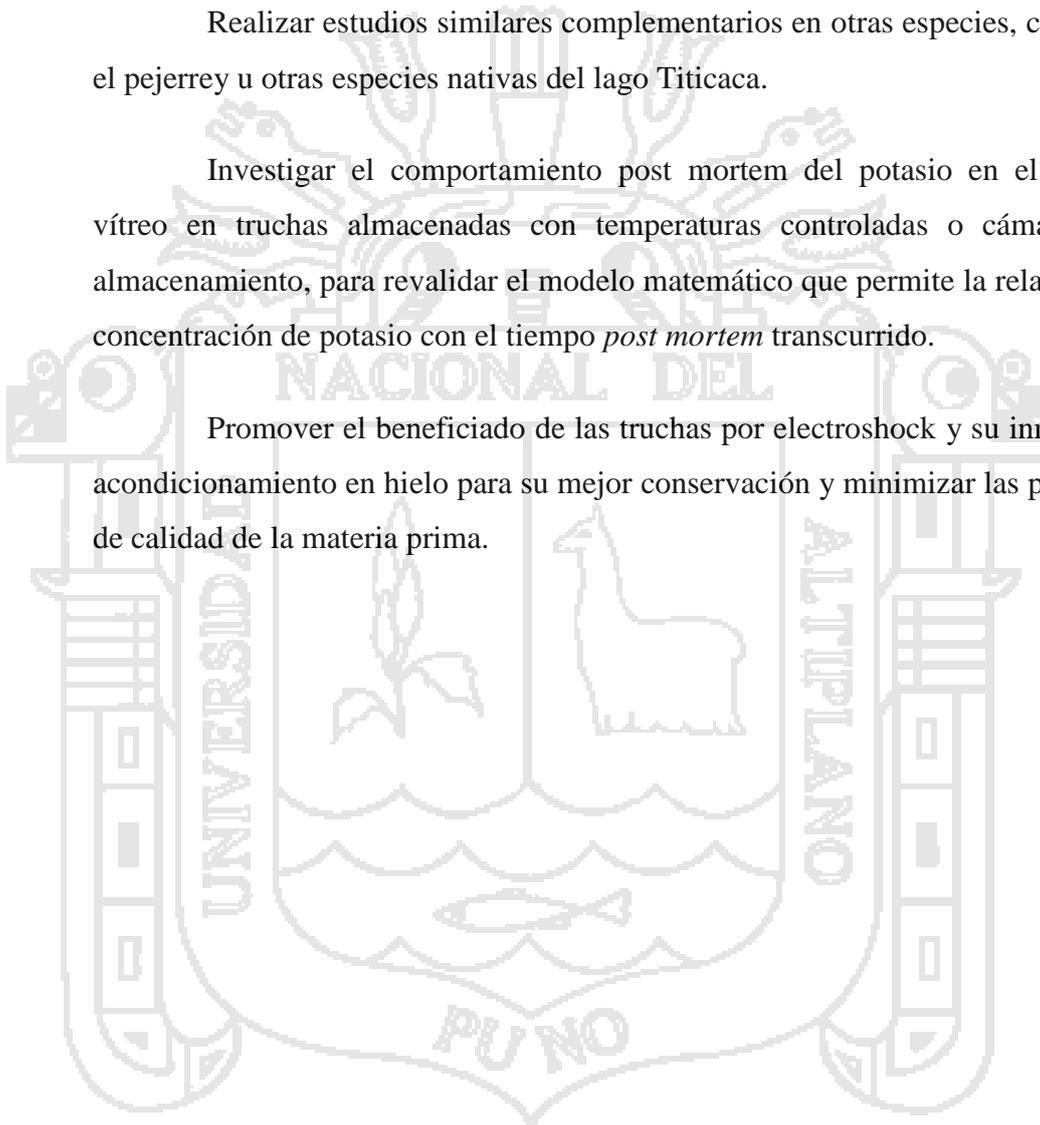
VI. RECOMENDACIONES

Realizar una evaluación de la metodología de determinación del índice de rigor en los pescados que fuera planteada por Bito *et al.* para que se pueda ajustar a muestras con menor exigencia fenotípica.

Realizar estudios similares complementarios en otras especies, como en el pejerrey u otras especies nativas del lago Titicaca.

Investigar el comportamiento post mortem del potasio en el humor vítreo en truchas almacenadas con temperaturas controladas o cámaras de almacenamiento, para revalidar el modelo matemático que permite la relación de concentración de potasio con el tiempo *post mortem* transcurrido.

Promover el beneficiado de las truchas por electroshock y su inmediato acondicionamiento en hielo para su mejor conservación y minimizar las pérdidas de calidad de la materia prima.



VII. BIBLIOGRAFÍA

Abe, H. y Okuma, E. 1991. Rigor mortis progress of carp acclimated to different water temperatures, *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 2095-2100.

Alcázar, J. 2002. Diccionario técnico de industrias alimentarias, segunda edición. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cuzco, Perú.

Agüeria, D; Grosman, F; Tabera, A; Sanzano, P. y Porta, R. 2004. Valoración de la calidad de carne de Pejerrey (*Odontesthes Bonariensis*). *Revista AquaTIC*, N° 20, pp. 9-19.

Alvarado, J.D. y Aguilera, J.M. 2001. Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos. Editorial Acribia S.A., Zaragoza – España.

Ando, M; Toyohara, H; Shimizu y Sakaguchi, M. 1991. Post-mortem tenderization of fish muscle procedes independently of resolution of rigor mortis. *Nippon Suisan Gakkaishi* 57(6), 1165-1169 (1991).

Arthey, D. y Dennis, C. 1992, Procesado de hortalizas, Editorial Acribia S.A., Zaragoza.

Ayala, M.D; Abdel, I; Santaella, M; Periago, M.J; Gil, F; Martinez, C y López Albors, O. 2006. Valoración de parámetros estructurales y texturales en la degradación *post mortem* y vida comercial de la dorada (*Sparus aurata L.*). *Aquaculture* 250: 215 - 231

Aza-Gates, E. G.1994. Dosaje de potasio en humor vítreo para la determinación del periodo post mortem. Tesis de Seg. Esp. Post Grado de Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima-Perú.

Barreda, M. 1978. Ictiología general. Editado y producido en la Universidad Nacional Federico Villareal.

Botta, J.R. 1991. Instrument for non-destructive texture measurement of raw Atlantic cod (*Gadus morhua*) fillet. *J. Food Sci.* 56, 962-964, 968.

Bratzo, K. G. y Rene, Z. G. 2004. Manual de crianza de truchas en jaulas flotantes. Primera edición, Centro Bartolomé de las Casas. Cuzco-Perú.

Bremner, H.A. y Hallett, I.C. 1985. Muscle fiber-connective tissue junctions in the blue grenadier (*Macruronus novaezelandiae*). A scanning electron microscope study. *J. Food Sci.* 50, 975-980.

Cheret, R; Chapleau, N; Delbarre Ladrat, C; Verrez-Bagnis, V. y De Lamballerie, M. 2005. Effects of high pressure on texture and microstructure of sea bass (*Dicentrarchus labrax L.*) fillets. *J. Food Sci.*, 70: 477.

Coultate, T. P. 1998. Manual de química y bioquímica de los alimentos, de la edición en lengua española. Editorial Acribia S.A., Zaragoza-España.

Faergemand J; Ronsholdt B; Alsted N. y Borresen T. 1995. Fillet texture of rainbow trout as affected by feeding strategy, slaughtering procedure and storage post mortem. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 31. No. 10. pp. 225-231.

Flores, A. R. 2003. Elaboración de salchichas ahumadas y empacadas al vacío a partir de la pulpa de trucha (*oncorhynchus mykiss*). Tesis de Grado, Universidad Nacional Del Altiplano, Ciencias Agrarias, Ingeniería Agroindustrial, Puno-Perú.

García, GI A. 2007. Bioquímica del músculo; Métodos para evaluar la dureza de la carne. Monografía, Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

Graham, J; Johnston, W.A. y Nicholson, F.J. 1993. El Hielo en las pesquerías. FAO Documento Técnico de Pesca N° 331. FAO, Roma.

Guzman, F; Carrizosa, E; Vergara, A y Jiménez, C. 2004. Líquidos y electrolitos en cirugía, fisiología celular y bioquímica. Editorial Medica Panamericana, Bogotá – Colombia.

Hart, F. L; Fisher, H. J. 1991. Análisis moderno de los alimentos. Primera edición, Editorial Acribia S.A. Zaragoza España.

Huss, H.H. 1998. Pescado fresco: su calidad y cambios de su calidad. FAO. Documento Técnico de Pesca N° 348. FAO, Roma-Italia.

ITP (Instituto Tecnológico Pesquero, PE) 2005. Investigación y Desarrollo de Productos Pesqueros: Congelados y pastas. <http://www.proinversion.gob.pe/boletines/documentos/proyectosITP.pdf>.

Iwamoto, M; Yamanaka, H; Watabe, S. y Hashimoto, K. 1987. Effect of storage temperature on *rigor mortis* and ATP degradation in plaice (*Paralichthys olivaceus*) muscle. *J. FoodSci.* 52, 6.

Kietzmann, U; Priebe, K; Rakow, D. y Reichstein, K. 1974. Inspección veterinaria de pescados. Editorial Acribia S.A., Zaragoza – España.

Kuehl, R. O. 2001. Diseños de experimentos, principios estadísticos de diseños y análisis de investigación. Segunda edición. International Thomson Editores, S.A., Impreso en México.

León, T. AM. 2008. Estabilización del músculo de trucha con cloruro de sodio y tripolifosfato de sodio para la elaboración de hamburguesa. Tesis de Grado, EP Ingeniería Agroindustrial. Universidad Nacional del Altiplano.

Little, T.M. y Hills, F. J. 1985. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Primera edición en español. Editorial Trillas S.A. México.

Madrid, A; Vicente, J. y Madrid, R. 1999. El Pescado y sus productos derivados. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

Massa, A.E. 2006. Cambios bioquímicos post-mortem en diferentes especies pesqueras. Determinación de la vida útil de las mismas en frío. Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Mar del Plata, Buenos Aires-Argentina.

Matissek, R; Schenepel, F. y Steiner, G. 1988. Análisis de los alimentos (fundamentos, métodos, aplicaciones). Editorial Acribia Zaragoza España.

Mattioli, G.A; Rosa, D.E; Lasta, G; Tittarelli, C.M. y Romero, J.R. 2002. Variaciones *post mortem* de magnesio, potasio y fósforo en el humor vítreo del bovino. Rev.Arg.Prod.Anim. Vol 22 N° 3-4

Ordoñez P. J; Cambero R. M; Fernández A. L; García S. M; García FM. G; Hoz P. L. y Selgas C. M. 1998. Tecnología de los alimentos: alimentos de origen animal. Vol. II. Editorial Síntesis S.A.. Madrid, España.

Primo, Y. E. 1998. Química de los alimentos. Primera edición. Editorial Síntesis S.A. Madrid-España. Pág. 387 -399.

Proctor, MR M. y Ryan, J.A. y Mcloughlin, J.V. 1992. The effects of stunning and slaughter methods on changes in skeletal muscle and quality of farmed fish. Proceedings from TNO, The Netherlands. International Conference *Upgrading and Utilization of Fishery Products*.

Roudot, A.C. 2004. Reología y análisis de la textura de los alimentos. Editorial Acribia S.A., Zaragoza-España.

Ruiter, A. 1999. El pescado y los productos derivados de la pesca: composición, propiedades nutritivas y estabilidad. Editorial Acribia S.A., Zaragoza – España.

Sahin y Sumnu, 2009. Textura de alimentos. Editorial Acribia S.A., Zaragoza-España.

Sánchez C. R. 2004. Crianza y producción de truchas. Primera edición, Ediciones Ripalme. Lima-Perú.

Sánchez, CS. P. 2005. Estudio de alternativas para la evaluación de la frescura y la calidad del boquerón (*Engraulis encrasicolus*) y sus derivados. Tesis de Doctorado, Facultad de Farmacia, Universidad de Barcelona. Barcelona-España.

Sato, K; Ohashi, C; Ohtsuki, K. y Kawabata, M. 1991. Type V collagen in trout (*Salmo gairdneri*) muscle and its solubility change during chilled storage of muscle. *J. Agric. Food Chem.*, 39: 1222.

Sigurgisladdottir, S; Hafsteinsson, H; Jonsson, A; Lie, O; Nortvedt, R; Thomassen, M. y Torrissen, O. 1999. Textural properties of raw salmon fillets as related to sampling method. *J. Food Sci.*, 64: 99.

Suárez, M. H; De Francisco, A; Beirão, L. E; Carrasco, S. P. y Rodríguez M.C. 2007. Pérdida de textura post mortem de la carne de pescado durante el almacenamiento en frío. *Acta biol. Colomb.*, Vol. 12 No. 1, 2007 3 - 18

Tomé, E; Iglesias, M; Kodaira, M. y Gonzales, A. 2000. Efecto de la temperatura de almacenamiento en el rigor mortis y en la estabilidad de la tilapia (*Oreochromis spp.*). *Revista Científica, FCV-LUZ/Vol. X, N° 4, 339-345.*

Tovar, B.M. O; Contreras, B.L. F; Caldas, M. L; Caicedo, D. R. y Giraldo, H. H. 2008. Comparación histológica y morfométrica entre el ojo de *Eremophilus mutisii* (trichomycteridae) y el de *Oncorhynchus mykiss* (salmonidae). *Acta biol. Colomb.*, Vol. 13 No. 2, 2008 75.

Uchiyama, H; Ehira, S. 1974. Relation between freshness and acid-soluble nucleotides in aseptic cold and yellowtail muscle during ice storage. *Bull. Tokai reg. Fish. Lab.*, 78: 23.

Valiente, O. M. 2001. Refrigeración y congelado de pescado. CONCYTEC. Editorial Ciencia y Técnica EIRL. Lima – Perú.

Veland, J. O y Torrissen, O. J. 1999. The texture of atlantic salmon (*Salmo salar*) muscle as measured instrumentally using TPA and warner-bratzler shear test. *J Sci Food Agric* 79:1737-1746.

Zea, F. W. e Ibañez, Q. V. 2006. Aplicaciones con el Sistema de Análisis Estadístico (SAS). Editorial Universitaria de la Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.



ANEXO 01: RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL POTASIO.

Nº	TIP. BENEFIC.	HIELO (%)	TIEMPO (Horas)	ABSORBANCIA			POTASIO (mmol/l)		
				LECT. 01	LECT. 02	LECT. 03	LECT. 01	LECT. 02	LECT. 03
1	AGOT.	0	0	0,471	0,483	*	71,8	73,6	*
2	AGOT.	0	12	0,485	0,510	*	73,8	77,6	*
3	AGOT.	0	24	0,664	0,758	*	101,1	115,5	*
4	AGOT.	0	36	0,769	1,045	1,154	117,1	159,1	175,8
5	AGOT.	0	48	1,280	1,248	*	194,9	190,0	*
6	AGOT.	0	60	2,117	2,236	2,117	322,4	340,5	322,4
7	AGOT.	0,5	0	0,527	0,515	*	80,3	78,4	*
8	AGOT.	0,5	12	0,562	0,601	*	85,6	91,6	*
9	AGOT.	0,5	24	0,758	0,632	*	115,5	96,3	*
10	AGOT.	0,5	36	0,695	0,863	0,655	105,8	131,5	99,8
11	AGOT.	0,5	48	0,988	1,052	0,901	150,4	160,2	137,2
12	AGOT.	0,5	60	1,902	1,694	1,728	289,7	258,0	263,1
13	AGOT.	1	0	0,459	0,522	*	69,9	79,5	*
14	AGOT.	1	12	0,573	0,539	*	87,3	82,1	*
15	AGOT.	1	24	0,592	0,586	*	90,2	89,3	*
16	AGOT.	1	36	0,661	0,830	0,768	100,6	126,4	116,9
17	AGOT.	1	48	0,958	1,094	0,951	145,9	166,6	144,9
18	AGOT.	1	60	1,649	1,248	1,479	251,2	190,1	225,2
19	ELECT.	0	0	0,358	0,319	*	65,9	71,8	*
20	ELECT.	0	12	0,489	0,550	*	74,5	83,7	*
21	ELECT.	0	24	0,707	0,680	0,672	107,7	103,5	102,3
22	ELECT.	0	36	0,704	0,735	0,731	107,2	111,9	111,4
23	ELECT.	0	48	1,301	1,303	*	198,1	198,4	*
24	ELECT.	0	60	1,759	1,741	1,915	267,9	265,1	291,7
25	ELECT.	0,5	0	0,516	0,541	*	78,6	82,4	*
26	ELECT.	0,5	12	0,671	0,636	*	102,2	96,9	*
27	ELECT.	0,5	24	0,678	0,721	*	103,3	109,8	*
28	ELECT.	0,5	36	0,976	0,823	0,800	148,6	125,3	121,8
29	ELECT.	0,5	48	1,022	1,096	1,407	155,6	166,9	214,3
30	ELECT.	0,5	60	1,053	1,376	1,451	160,4	209,6	220,9
31	ELECT.	1	0	0,434	0,580	*	66,1	88,3	*
32	ELECT.	1	12	0,590	0,584	*	89,9	89,0	*
33	ELECT.	1	24	0,611	0,585	0,619	93,1	89,1	94,3
34	ELECT.	1	36	0,699	0,762	0,699	106,4	116,0	106,4
35	ELECT.	1	48	0,934	0,770	0,948	142,3	117,3	144,4
36	ELECT.	1	60	1,173	1,131	1,043	178,6	172,3	158,8

ANEXO 02: RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE SODIO.

Nº	TIP. BENEFIC.	HIELO (%)	TIEMPO (Horas)	ABSORBANCIA			SODIO (mmol/l)		
				LECT. 01	LECT. 02	LECT. 03	LECT. 01	LECT. 02	LECT. 03
1	AGOT.	0	0	0,506	0,336	*	226,4	150,3	*
2	AGOT.	0	12	0,399	0,365	*	178,7	163,5	*
3	AGOT.	0	24	0,288	0,338	*	128,8	151,1	*
4	AGOT.	0	36	0,113	0,238	*	50,5	106,4	*
5	AGOT.	0	48	0,416	0,170	*	186,3	76,2	*
6	AGOT.	0	60	0,344	0,378	*	154,1	169,3	*
7	AGOT.	0,5	0	0,561	0,392	*	251	175,4	*
8	AGOT.	0,5	12	0,372	0,354	*	166,3	158,5	*
9	AGOT.	0,5	24	0,371	0,323	*	166,2	144,3	*
10	AGOT.	0,5	36	0,242	0,412	0,296	108,5	184,4	132,5
11	AGOT.	0,5	48	0,332	0,305	0,318	148,5	136,6	142,4
12	AGOT.	0,5	60	0,319	0,319	*	142,8	142,8	*
13	AGOT.	1	0	0,335	0,445	*	149,9	199,2	*
14	AGOT.	1	12	0,303	0,320	*	135,4	143,2	*
15	AGOT.	1	24	0,410	0,365	*	183,4	163,2	*
16	AGOT.	1	36	0,402	0,433	0,350	180	193,6	156,4
17	AGOT.	1	48	0,267	0,346	*	119,4	154,9	*
18	AGOT.	1	60	0,353	0,360	0,349	158	161,2	156,1
19	ELECT.	0	0	0,490	0,363	*	219,2	162,2	*
20	ELECT.	0	12	0,296	0,388	*	132,6	173,4	*
21	ELECT.	0	24	0,306	0,394	*	137	176,2	*
22	ELECT.	0	36	0,214	0,339	*	95,9	151,5	*
23	ELECT.	0	48	0,356	0,310	*	159,5	138,9	*
24	ELECT.	0	60	0,315	0,345	*	140,8	154,2	*
25	ELECT.	0,5	0	0,331	0,470	*	148,2	210,2	*
26	ELECT.	0,5	12	0,303	0,259	*	135,4	115,9	*
27	ELECT.	0,5	24	0,334	0,377	*	149,3	168,7	*
28	ELECT.	0,5	36	0,303	0,345	*	135,7	154,3	*
29	ELECT.	0,5	48	0,329	0,392	*	147	175,4	*
30	ELECT.	0,5	60	0,309	0,286	*	138,1	127,9	*
31	ELECT.	1	0	0,403	0,415	*	180,3	185,5	*
32	ELECT.	1	12	0,361	0,303	*	161,5	135,6	*
33	ELECT.	1	24	0,357	0,378	*	159,9	169,2	*
34	ELECT.	1	36	0,408	0,299	*	182,7	134	*
35	ELECT.	1	48	0,267	0,206	0,258	119,6	92,2	115,6
36	ELECT.	1	60	0,398	0,349	0,296	177,9	156,1	132,6

ANEXO 03: RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE PENETRACIÓN

Nº	TIP. BENEFIC.	HIELO	TIEMPO	LECTURAS (dmm)		
				LECT. 01	LECT. 02	LECT. 03
1	AGOTAMIENTO	0	0	22,0	28,0	24,0
2	AGOTAMIENTO	0	12	29,0	37,0	35,0
3	AGOTAMIENTO	0	24	40,0	37,0	35,0
4	AGOTAMIENTO	0	36	32,0	42,0	44,5
5	AGOTAMIENTO	0	48	34,0	37,0	39,0
6	AGOTAMIENTO	0	60	46,0	53,0	44,0
7	AGOTAMIENTO	0	72	46,0	42,0	44,5
8	AGOTAMIENTO	0,5	0	19,0	22,0	28,0
9	AGOTAMIENTO	0,5	12	28,0	28,0	27,0
10	AGOTAMIENTO	0,5	24	42,0	46,0	36,0
11	AGOTAMIENTO	0,5	36	44,0	45,0	42,0
12	AGOTAMIENTO	0,5	48	43,0	44,0	45,5
13	AGOTAMIENTO	0,5	60	46,5	40,0	44,0
14	AGOTAMIENTO	0,5	72	44,5	45,0	47,0
15	AGOTAMIENTO	1	0	20,6	22,5	23,7
16	AGOTAMIENTO	1	12	35,0	18,0	25,0
17	AGOTAMIENTO	1	24	33,0	33,0	27,0
18	AGOTAMIENTO	1	36	39,0	35,5	45,0
19	AGOTAMIENTO	1	48	41,0	40,5	42,5
20	AGOTAMIENTO	1	60	48,0	50,0	47,0
21	AGOTAMIENTO	1	72	39,0	49,0	42,0
22	ELECTROSHOCK	0	0	25,5	23,0	24,0
23	ELECTROSHOCK	0	12	28,0	29,5	26,0
24	ELECTROSHOCK	0	24	36,0	28,0	25,0
25	ELECTROSHOCK	0	36	33,0	40,5	33,5
26	ELECTROSHOCK	0	48	45,0	43,5	33,0
27	ELECTROSHOCK	0	60	46,5	42,0	46,5
28	ELECTROSHOCK	0	72	42,0	43,0	46,0
29	ELECTROSHOCK	0,5	0	21,0	26,0	25,0
30	ELECTROSHOCK	0,5	12	32,5	41,0	28,0
31	ELECTROSHOCK	0,5	24	32,0	36,0	37,0
32	ELECTROSHOCK	0,5	36	42,0	40,0	38,0
33	ELECTROSHOCK	0,5	48	54,0	44,0	49,0
34	ELECTROSHOCK	0,5	60	46,5	44,0	49,0
35	ELECTROSHOCK	0,5	72	41,0	43,0	47,0
36	ELECTROSHOCK	1	0	18,5	19,0	18,3
37	ELECTROSHOCK	1	12	18,0	21,0	21,0
38	ELECTROSHOCK	1	24	31,0	30,0	27,0
39	ELECTROSHOCK	1	36	32,0	36,0	34,5
40	ELECTROSHOCK	1	48	35,5	43,0	46,5
41	ELECTROSHOCK	1	60	43,0	51,0	48,0
42	ELECTROSHOCK	1	72	41,0	42,0	46,5

ANEXO 04: RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RIGOR.

Nº	TIP. BENEFICIO	HIELO (%)	TIEMPO (Horas)	MEDICIONES (cm)			INDICE DE RIGOR		
				LECT. 01	LECT. 02	LECT. 03	LECT. 01	LECT. 02	LECT. 03
1	AGOT.	0	1	6,1	6,4	5,7	4,7	0,0	10,9
2	AGOT.	0	2	3,4	3,5	4,2	46,9	45,3	34,4
3	AGOT.	0	3	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
4	AGOT.	0	4	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
5	AGOT.	0	5	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
6	AGOT.	0	6	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
7	AGOT.	0	7	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
8	AGOT.	0	12	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
9	AGOT.	0	24	4,6	3,5	2,8	28,1	45,3	56,3
10	AGOT.	0	36	3,5	7,7	6,0	45,3	-20,3	6,3
11	AGOT.	0	48	7,8	8,5	7,0	-21,9	-32,8	-9,4
12	AGOT.	0	60	6,2	10,2	8,5	3,1	-59,4	-32,8
13	AGOT.	0	72	10,4	11,4	9,1	-62,5	-78,1	-42,2
14	AGOT.	0,5	1	6,3	6,0	5,6	0,0	4,8	11,1
15	AGOT.	0,5	2	3,9	3,7	3,4	38,1	41,3	46,0
16	AGOT.	0,5	3	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
17	AGOT.	0,5	4	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
18	AGOT.	0,5	5	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
19	AGOT.	0,5	6	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
20	AGOT.	0,5	7	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
21	AGOT.	0,5	12	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
22	AGOT.	0,5	24	0,0	2,1	1,3	100,0	66,7	79,4
23	AGOT.	0,5	36	3,6	5,3	7,9	42,9	15,9	-25,4
24	AGOT.	0,5	48	6,6	3,6	7,5	-4,8	42,9	-19,0
25	AGOT.	0,5	60	7,8	7,7	9,0	-23,8	-22,2	-42,9
26	AGOT.	0,5	72	8,2	9,8	10,5	-30,2	-55,6	-66,7
27	AGOT.	1	1	5,6	6,0	6,1	8,2	1,6	0,0
28	AGOT.	1	2	5,7	5,4	5,3	6,6	11,5	13,1
29	AGOT.	1	3	3,8	4,1	3,3	37,7	32,8	45,9
30	AGOT.	1	4	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
31	AGOT.	1	5	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
32	AGOT.	1	6	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
33	AGOT.	1	7	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
34	AGOT.	1	12	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
35	AGOT.	1	24	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
36	AGOT.	1	36	1,9	5,5	2,4	68,9	9,8	60,7
37	AGOT.	1	48	6,5	3,7	4,8	-6,6	39,3	21,3
38	AGOT.	1	60	6,6	3,5	7,5	-8,2	42,6	-23,0



39	AGOT.	1	72	6,9	9,5	7,8	-13,1	-55,7	-27,9
40	ELECT.	0	1	5,8	6,2	6,2	6,5	0,0	0,0
41	ELECT.	0	2	6,1	5,5	5,8	1,6	11,3	6,5
42	ELECT.	0	3	6,1	5,3	5,9	1,6	14,5	4,8
43	ELECT.	0	4	4,9	4,4	4,2	21,0	29,0	32,3
44	ELECT.	0	5	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
45	ELECT.	0	6	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
46	ELECT.	0	7	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
47	ELECT.	0	12	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
48	ELECT.	0	24	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
49	ELECT.	0	36	2,3	1,4	3,7	62,9	77,4	40,3
50	ELECT.	0	48	6,3	4,6	4,0	-1,6	25,8	35,5
51	ELECT.	0	60	6,5	9,4	5,0	-4,8	-51,6	19,4
52	ELECT.	0	72	11,2	9,0	9,0	-80,6	-45,2	-45,2
53	ELECT.	0,5	1	6,0	5,8	6,3	4,8	7,9	0,0
54	ELECT.	0,5	2	5,7	5,7	5,9	9,5	9,5	6,3
55	ELECT.	0,5	3	5,6	6,2	5,3	11,1	1,6	15,9
56	ELECT.	0,5	4	5,4	5,8	6,0	14,3	7,9	4,8
57	ELECT.	0,5	5	4,4	5,0	4,5	30,2	20,6	28,6
58	ELECT.	0,5	6	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
59	ELECT.	0,5	7	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
60	ELECT.	0,5	12	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
61	ELECT.	0,5	24	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
62	ELECT.	0,5	36	1,0	0,0	2,5	84,1	100,0	60,3
63	ELECT.	0,5	48	3,0	4,5	5,0	52,4	28,6	20,6
64	ELECT.	0,5	60	6,4	5,0	5,2	-1,6	20,6	17,5
65	ELECT.	0,5	72	10,9	8,9	6,8	-73,0	-41,3	-7,9
66	ELECT.	1	1	6,4	6,3	5,7	0,0	1,6	10,9
67	ELECT.	1	2	5,4	5,7	5,6	15,6	10,9	12,5
68	ELECT.	1	3	6,1	6,0	5,4	4,7	6,3	15,6
69	ELECT.	1	4	5,5	6,2	6,0	14,1	3,1	6,3
70	ELECT.	1	5	6,0	5,8	5,4	6,3	9,4	15,6
71	ELECT.	1	6	5,0	5,2	5,1	21,9	18,8	20,3
72	ELECT.	1	7	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
73	ELECT.	1	12	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
74	ELECT.	1	24	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
75	ELECT.	1	36	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
76	ELECT.	1	48	0,0	0,6	0,0	100,0	90,9	100,0
77	ELECT.	1	60	1,0	3,5	2,8	84,4	45,3	56,3
78	ELECT.	1	72	1,9	5,5	2,4	70,3	14,1	62,5

ANEXO 05: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS MEDICIONES DE POTASIO

FUENTE	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO DE LA MEDIA	F Calculada	Significancia
TB	1	2821.2568	2821.2568	14.44	0.0005 **
HIELO	2	8339.2433	4169.6217	21.34	<.0001 **
TIEMPO	5	239272.8729	47854.5746	244.93	<.0001 **
TB*HIELO	2	287.9878	143.9939	0.74	0.4856 NS
TB*TIEMPO	5	10727.4574	2145.4915	10.98	<.0001 **
HIELO*TIEMPO	10	21269.1900	2126.9190	10.89	<.0001 **
TB*HIELO*TIEMPO	10	2861.5456	286.1546	1.46	0.1930 NS
Error	36	7033.6450	195.3790		
TOTAL CORREGIDO	71	292613.1987			

R ²	CV
97.6 %	10.63

****P < 0.01**

***0.01 < P < 0.05**

NS P > 0.05

GL= Grados de libertad

R² = Coeficiente de Determinación

CV = Coeficiente de variación

ANEXO 06: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS MEDICIONES DE SODIO

FUENTE	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO DE LA MEDIA	F Calculada	Significancia
TB	1	127.49470	127.49470	0.16	0.6917 NS
HIELO	2	940.81855	470.40928	0.59	0.5597 NS
TIEMPO	5	21302.98092	4260.59618	5.35	0.0010 **
TB*HIELO	2	731.08558	365.54279	0.46	0.6359 NS
TB*TIEMPO	5	1256.24120	251.24824	0.32	0.9001 NS
HIELO*TIEMPO	10	16040.23696	1604.02370	2.01	0.0640 NS
TB*HIELO*TIEMPO	10	6783.10360	678.31036	0.85	0.5847 NS
Error	33	26281.77500	796.41742		
TOTAL CORREGIDO	68	73463.73652			

R ²	CV
64.22 %	18.31

****P < 0.01**

***0.01 < P < 0.05**

NS P > 0.05

GL= Grados de libertad

R² = Coeficiente de Determinación

CV = Coeficiente de variación

ANEXO 07: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS MEDICIONES DE PENETRACIÓN

FUENTE	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO DE LA MEDIA	F Calculada	Significancia
TB	1	72.382937	72.382937	5.14	0.0260 *
HIELO	2	319.535873	159.767937	11.34	<.0001 **
TIEMPO	6	8188.255238	1364.709206	96.90	<.0001 **
TB*HIELO	2	61.063492	30.531746	2.17	0.1208 NS
TB*TIEMPO	6	201.936508	33.656085	2.39	0.0351 *
HIELO*TIEMPO	12	476.381905	39.698492	2.82	0.0027 **
TB*HIELO*TIEMPO	12	179.992063	14.999339	1.07	0.3997 NS
Error	84	1182.98000	14.083100		
TOTAL CORREGIDO	125	10682.52802			

R ²	CV
88.93	10.25

****P < 0.01**

***0.01 < P < 0.05**

NS P > 0.05

GL= Grados de libertad
variación

R² = Coeficiente de Determinación

CV = Coeficiente de

ANEXO 08: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS MEDICIONES DE ÍNDICE DE RIGOR

FUENTE	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO DE LA MEDIA	F Calculada	Significancia
TB	1	1150.2284	1150.2284	5.91	0.0162 *
HIELO	2	2878.4332	1439.2166	7.39	0.0009 **
TIEMPO	12	378383.5700	31531.9642	161.88	<.0001 **
TB*HIELO	2	732.4578	366.2289	1.88	0.1560 NS
TB*TIEMPO	12	113218.4061	9434.8672	48.44	<.0001 **
HIELO*TIEMPO	24	57429.6379	2392.9016	12.28	<.0001 **
TB*HIELO*TIEMPO	24	29855.5578	1243.9816	6.39	<.0001 **
Error	156	30386.4733	194.7851		
TOTAL CORREGIDO	233	614034.7644			

R ²	CV
95.05%	29.31

****P < 0.01**

***0.01 < P < 0.05**

NS P > 0.05

GL= Grados de libertad

R² = Coeficiente de Determinación

CV = Coeficiente de variación

ANEXO 09: ANÁLISIS DE VARIANZA CONSIDERANDO LOS EFECTOS LINEAL, CUADRÁTICO Y RESIDUAL DEL POTASIO EN PESCADOS BENEFICIADOS POR AGOTAMIENTO.

FUENTE	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO DE LA MEDIA	F Calculada	Significancia
HIELO	2	5361.5372	2680.7686	10.20	0.0011 **
LINEAL	1	5349.1204	5349.1204	20.36	0.0003 **
CUADRÁTICA	1	12.4168	12.4168	0.05	0.8303 NS
TIEMPO	5	169408.4189	33881.6838	128.97	<.0001 **
LINEAL	1	139506.9075	139506.9075	531.02	<.0001 **
CUADRÁTICA	1	26107.2039	26107.2039	99.38	<.0001 **
HIELO*TIEMPO	10	10017.9561	1001.7956	3.81	0.0066 **
HIELO L TIEMPO L	1	7113.4560	7113.4560	27.08	<.0001 **
HIELO L TIEMPO Q	1	1410.4005	1410.4005	5.37	0.0325 *
HIELO Q TIEMPO L	1	350.3646	350.3646	1.33	0.2633 NS
HIELO Q TIEMPO Q	1	13.3492	13.3492	0.05	0.8242 NS
Error	18	4728.8400	262.7133		
TOTAL CORREGIDO	35	189516.7522			

R ²	CV
97.50%	11.76

****P < 0.01**

***0.01 < P < 0.05**

NS P > 0.05

GL= Grados de libertad

R² = Coeficiente de Determinación

CV = Coeficiente de variación

Coeficiente	Estimado
Constante	72.35952381
H	20.54523810
T	-0.62066468
T2	0.07497106
HT	-1.68011905

ANEXO 10: ANÁLISIS DE VARIANZA CONSIDERANDO LOS EFECTOS LINEAL, CUADRÁTICO Y RESIDUAL DEL POTASIO EN PESCADOS BENEFICIADOS POR ELECTROSHOCK.

FUENTE	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO DE LA MEDIA	F Calculada	Significancia
HIELO	2	3265.69389	1632.84694	12.75	0.0004 **
HIELO LINEAL	1	3098.55375	3098.55375	24.20	0.0001 **
HIELO CUADRÁTICA	1	167.14014	167.14014	1.31	0.2682 NS
TIEMPO	5	80591.91139	16118.38228	125.88	<.0001 **
TIEMPO LINEAL	1	75016.40860	75016.40860	585.86	<.0001 **
TIEMPO CUADRÁTICA	1	4826.09556	4826.09556	37.69	<.0001 **
HIELO*TIEMPO	10	14112.77944	1411.27794	11.02	<.0001 **
HIELO L TIEMPO L	1	9228.77232	9228.77232	72.07	<.0001 **
HIELO L TIEMPO Q	1	563.16964	563.16964	4.40	0.0504 NS
HIELO Q TIEMPO L	1	1671.97858	1671.97858	13.06	0.0020 **
HIELO Q TIEMPO Q	1	998.82099	998.82099	7.80	0.0120 *
Error	18	2304.8050	128.0447		
TOTAL CORREGIDO	35	100275.1897			

R ²	CV
97.70%	9.03

****P < 0.01**

***0.01 < P < 0.05**

NS P > 0.05

GL= Grados de libertad

R² = Coeficiente de Determinación

CV = Coeficiente de variación

Coeficiente	Estimado
Constante	57.92839196
H	31.94797799
T	1.14265195
T2	0.03461030
HT	-2.33374192
H2T	0.76226849
H2T2	-0.00570362

ANEXO 11: ANÁLISIS DE VARIANZA CONSIDERANDO LOS EFECTOS LINEAL, CUADRÁTICO Y RESIDUAL DEL PENETRACIÓN EN PESCADOS BENEFICIADOS POR AGOTAMIENTO.

FUENTE	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO DE LA MEDIA	F Calculada	Significancia
HIELO	2	62.926667	31.463333	2.11	0.1337 NS
LINEAL	1	28.668810	28.668810	1.92	0.1727 NS
CUADRATICA	1	34.257857	34.257857	2.30	0.1369 NS
TIEMPO	6	3805.053016	634.175503	42.57	<.0001 **
LINEAL	1	3344.871468	3344.871468	224.52	<.0001 **
CUADRATICA	1	355.611442	355.611442	23.87	<.0001 **
HIELO*TIEMPO	12	373.148889	31.095741	2.09	0.0394 *
HIELO L TIEMPO L	1	56.121488	56.121488	3.77	0.0590 NS
HIELO L TIEMPO Q	1	2.790179	2.790179	0.19	0.6674 NS
HIELO Q TIEMPO L	1	0.000020	0.000020	0.00	0.9991 NS
HIELO Q TIEMPO Q	1	51.666832	51.666832	3.47	0.0696 NS
Error	42	625.720000	14.898095		
TOTAL CORREGIDO	62	4866.848571			

R ²	CV
87.14%	10.33

****P < 0.01**

***0.01 < P < 0.05**

NS P > 0.05

GL= Grados de libertad

R² = Coeficiente de Determinación

CV = Coeficiente de variación

Coeficiente	Estimado
Constante	23.00291005
T	0.64652778
T2	-0.00476282

ANEXO 12: ANÁLISIS DE VARIANZA CONSIDERANDO LOS EFECTOS LINEAL, CUADRÁTICO Y RESIDUAL DEL PENETRACIÓN EN PESCADOS BENEFICIADOS POR ELECTROSHOCK.

FUENTE	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO DE LA MEDIA	F Calculada	Significancia
HIELO	2	317.672698	158.836349	11.97	<.0001 **
LINEAL	1	32.068810	32.068810	2.42	0.1275 NS
CUADRÁTICA	1	285.603889	285.603889	21.53	<.0001 **
TIEMPO	6	4585.138730	764.189788	57.60	<.0001 **
LINEAL	1	4194.403214	4194.403214	316.13	<.0001 **
CUADRÁTICA	1	196.574405	196.574405	14.82	0.0004 **
HIELO*TIEMPO	12	283.225079	23.602090	1.78	0.0840 NS
HIELO L TIEMPO L	1	73.471488	73.471488	5.54	0.0234 NS
HIELO L TIEMPO Q	1	12.857639	12.857639	0.97	0.3306 NS
HIELO Q TIEMPO L	1	40.630179	40.630179	3.06	0.0874 NS
HIELO Q TIEMPO Q	1	50.930060	50.930060	3.84	0.0567 NS
Error	42	557.260000	13.268095		
TOTAL CORREGIDO	62	5743.296508			

R ²	CV
90.3%	10.16

****P< 0.01**

***0.01<P<0.05**

NS P > 0.05

GL= Grados de libertad

R² = Coeficiente de Determinación

CV = Coeficiente de variación

Coeficiente	Estimado
Constante	24.53534999
H2	-0.00083477
T	0.51452153
T2	-0.00354112
T*H	0.00160838

ANEXO 13: CALOR ESPECÍFICO DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES

$$Cep = 0.5 Xl + 0.3 Xs + 1.0 Xa$$

Donde:

$$Xl = 0.1818 \%$$

$$Xs = 0.2202 \%$$

$$Xa = 0.598 \%$$

$$Cep = 0.75496 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{C}$$

ANEXO 14: CANTIDAD DE HIELO NECESARIO

Según Grahan *et al.* (1993) y Huss (1998)

$$(Mh)(Lh) = (Mp)(Cep)(t_i - t_f)$$

Donde:

Mh = masa de hielo kg

Lh = normalmente fijado en 80 Kcal/kg, Grahan *et al.* (1993)

Mp = 39 kg

Cep = 0.75496 Kcal/kg°C

t_i = 17.2 °C

t_f = 2 °C

$$Mh = 5.59 \text{ kg}$$

ANEXO 15: CALCULO DE HIELO UTILIZADO

TRATAMIENTOS	0 HORAS		24 HORAS	
	PESCADO (Unidades)	PESCADO (Kg)	HIELO (Kg)	HIELO (Kg)
1	39	11,6	12,0	6,0
2	39	11,6	6,0	3,0
3	39	11,6	0,0	0,0
4	39	11,6	12,0	6,0
5	39	11,6	6,0	3,0
6	39	11,6	0,0	0,0
TOTAL	234	69,7	36,0	18,0

ANEXO 16: PANEL FOTOGRÁFICO**Acondicionamiento de las truchas en las cavas de plástico.****Toma de muestra del humor vítreo del globo ocular de la trucha**

Mediciones de penetración



Mediciones para el índice de rigor.



Determinación del contenido de potasio

Espectrofotómetro ultravioleta MODELO EMP - 168.
(Fotografía auspiciada por el Lab. Diagn Med)

