



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE CARNE DE TRUCHA  
ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*) Y TÉCNICAS INSTRUMENTALES Y NO  
INSTRUMENTALES PARA SU DETERMINACIÓN

## **TESINA**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

P R E S E N T A

**ANGELLO ANTONIO VAZQUEZ MORENO**

### **ASESORES:**

Dra. en C. MARÍA ANTONIA MARIEZCURRENA BERASAIN

M. en C. LUIS FERNANDO VEGA CASTILLO

M. en A. EDUARDO NAVA NAVA

### **REVISORES:**

Dra. en C. CELENE SALGADO MIRANDA

IAF. LOURDES GARCÍA BELLO

Toluca, México, Octubre 2017



## CONTENIDO

Índice de cuadros.....	v
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	v
Índice de gráficas.....	v
Dedicatoria.....	vi
Agradecimientos.....	viii
Introducción.....	1
I. JUSTIFICACIÓN.....	3
II. OBJETIVO.....	4
III. MATERIAL Y MÉTODO.....	5
3.1 Material.....	5
3.2 Método.....	5
I. Importancia económica y generalidades de la carne de trucha.....	6
1.1 Importancia económica.....	6
1.1.1 En el mundo.....	6
1.1.2 En México.....	8
1.1.3 En el Estado de México.....	10
1.2 Carne.....	11
1.2.1 Generalidades.....	11
1.2.2 Composición química de la carne de trucha.....	12
II. Tejido muscular.....	15
2.1 Músculo.....	15
2.1.1 Fibras musculares.....	17
2.1.2 Tipos de músculo.....	18
2.1.2.1 Tipo I: Músculos de contracción lenta oxidativa, también llamados $\beta R$ .....	18
2.1.2.2 Tipo II A: Músculos de contracción rápida oxidativa, también llamados $\beta W$ .....	21

2.1.2.3 Tipo II B: Músculos de contracción rápida glicolítica, también llamados $\alpha$ W .....	22
2.1.3 Clasificación según su color.....	23
2.2 Fibra muscular estriada .....	24
2.3 Composición del músculo estriado.....	25
2.3.1 Proteínas.....	28
2.3.2 Lípidos.....	32
2.3.3 Carbohidratos .....	33
2.3.4 Vitaminas y minerales .....	34
2.3.4.1 Vitaminas.....	34
2.3.4.2 Minerales .....	34
2.3.5 Agua.....	35
III. Rendimiento en canal .....	36
3.1 Rendimiento de la canal de trucha .....	36
IV. Conversión de músculo a carne.....	38
4.1 Conversión de músculo a carne.....	38
4.2 <i>Rigor mortis</i> .....	39
V. Factores que afectan la calidad de la carne .....	42
5.1 <i>Ante mortem</i> .....	42
5.1.1 Ambiente.....	43
5.1.2 Ayuno.....	44
5.1.3 Transporte .....	45
5.1.4 Estimulación eléctrica.....	48
5.2 <i>Post mortem</i> .....	49
5.2.1 Enfriamiento .....	50
5.2.2 Maduración .....	55
5.2.3 Congelación.....	55
5.3 Parámetros que definen la calidad de la carne .....	59
5.3.1 Color .....	60
5.3.2 Textura.....	62

5.3.3 Jugosidad.....	64
5.3.4 Sabor .....	65
5.3.5 Grasa Intramuscular.....	67
<b>VI. Técnicas instrumentales de medición de carne de trucha .....</b>	<b>70</b>
6.1 Análisis instrumental de la carne.....	70
6.1.1 Generalidades .....	70
6.1.2 pH .....	70
6.1.3 Color .....	72
6.1.4 Capacidad de retención de agua.....	75
6.1.5 Textura.....	77
6.1.6 Humedad.....	81
6.1.7 Grasa .....	83
6.1.8 Proteína.....	84
<b>VII. Técnicas no instrumentales de medición de carne de trucha .....</b>	<b>87</b>
7.1 Análisis sensorial de la carne .....	87
7.1.1 Generalidades .....	87
7.1.2 Condiciones del análisis sensorial.....	87
7.1.3 Tipos de jueces.....	90
7.1.4 Reclutamiento de jueces .....	91
7.1.5 Escalas sensoriales .....	93
7.2 Tipos de pruebas sensoriales.....	97
7.2.1 Pruebas discriminatorias.....	98
7.2.3 Pruebas afectivas.....	102
<b>IV. LÍMITE DE ESPACIO .....</b>	<b>104</b>
<b>V. LÍMITE DE TIEMPO.....</b>	<b>105</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>106</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>107</b>

### Índice de cuadros

Cuadro 1. Principales países productores de trucha arcoíris en el mundo 2010 .....	7
Cuadro 2. Principales productores mundiales de trucha arcoíris en el continente americano .....	8
Cuadro 3. Aminoácidos esenciales (porcentaje) en carne de pescado .....	28
Cuadro 4. Métodos sencillos para el transporte de peces vivos .....	48
Cuadro 5. Factores intrínsecos que influyen en la tasa de deterioro del pescado enfriado .....	52
Cuadro 6. Las cuatro fases del deterioro del pescado.....	53
Cuadro 7. Clasificación taxonómica, tipo, código FAO y valores objetivos de color (sistema CIELab) de distintas especies de pescado encontradas en el mercado español.....	75

### Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de los peces según el contenido de grasa .....	26
Tabla 2. Composición nutricional de la carne de trucha.....	27
Tabla 3. Proteínas miofibrilares del músculo esquelético.....	31
Tabla 4. Calidad de la canal de tres variedades de trucha arcoíris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) .....	37
Tabla 5. Tiempo de conservación en hielo (días).....	54
Tabla 6. Ventajas e inconvenientes de la refrigeración y la congelación de pescados.....	57

### Índice de figuras

Figura 1. Disposición del miotoma, miocomata y separación de masas musculares .....	17
---	----

### Índice de gráficas

Gráfica 1. Producción anual de trucha a nivel nacional .....	10
--	----

## Dedicatoria

-A Dios, quien en cada paso que doy se hace presente y siempre se ha encargado de iluminar el camino que recorro sin nunca dejarme caer.

-A mi madre, por ser mi mejor y mayor ejemplo de vida, por seguirme retando a no dejar de crecer, sé que siempre he tenido tu respaldo y buscas darme y verme ser el mejor, hoy estoy aquí reflejando un poco de todo tu esfuerzo y viene mucho más, créelo; no ha sido fácil en muchas ocasiones pero nunca dejaremos de luchar por salir adelante juntos, por tus consejos, valores, apoyo constante pero sobre todo, por tu amor. Te amo ma.

-A mis abuelos, Ronchita y Don Artur, jamás en la vida he visto seres de luz inmenso como la que ustedes irradian, gracias por todo lo que han hecho y siguen haciendo por nosotros, por mí; aun con la distancia siempre están en mi corazón, son de lo que más amo con locura inmensa, gracias por el apoyo, empuje, consejos, experiencia y por el cariño indudable que siempre me han demostrado, sin ustedes esto no sería posible.

-¡Hermanos! Kevin y Ale, por estar escuchándome siempre, tenderme la mano y no dejarme caer, su optimismo, alegría y ayuda en todo momento me hacen salir adelante; soy muy enojón, lo sé, solo quiero que ustedes sean los mejores y más exitosos siempre, los amo.

-Emmanuel, ¡wuerejo!, la vida te puso en mi camino y soy desde ese momento el más feliz del mundo, caminar esta vida a tu lado ha sido y será un placer enorme; tu cariño, amor y confianza es un gran regalo, además, el apoyo que me has brindado siempre ha sido fundamental para cada uno de los retos que me he propuesto, gracias por siempre estar impulsándome y nunca dejar que el tropiezo se convierta en caída, eres uno de mis pilares más importantes, te amo, gracias por todo.

-A ti Hugo, por tu paciencia, cariño y todo tu apoyo, en especial el que siempre le has dado a mi ma, tus consejos sin duda alguna me dejan siempre una gran enseñanza, nuestras diferencias lejos de separarnos nos han enseñado a conocernos mejor, gracias.

-Cesar, Adri, Deny y Darly; la confianza que siempre me han tenido es algo que agradezco infinitamente, su cariño y apoyo es importantísimo para que hoy pueda

dar este paso, gracias por estar siempre en las buenas y las malas, estoy aquí más fuerte que nunca.

-Dra. Toña, ¡Madre mía de mí!, lejos de ser solo un catedrático más se convirtió en una excelente amiga, su cariño, experiencia, consejos, ayuda y confianza me han impulsado a llegar y seguir llegando lejos, gracias por recorrer estos años a mi lado.

-Ma Margarita y familia (Caro, Vero, Pris, Nur, Robert, Albert, Male y Arturito), la vida siempre tiene a bien poner en tu camino las mejores personas, estos últimos años me dio la dicha de conocerlos, saben el inmenso cariño que siento por cada uno, gracias por la confianza y el gran apoyo que siempre me han dado, mi corazón siempre con ustedes.

-Familia González Drumond, gracias por abrir las puertas de casa y siempre tenderme la mano, cada consejo lo llevo en mente para que este crecimiento nunca acabe.

-A mis Amigos o mejor dicho, mis hermanos, Eunice, Shalom, Roberto, Luna, Paula, Itzell, Marina, Andrés, Manin, perdón si alguno se me va y no por ello deja de ser importante, afortunadamente son muchos de los que pude rodearme en este camino, ustedes mejor que nadie saben todo lo que pasamos juntos, son grandes y únicas experiencias que me llevo dentro del corazón, terminamos solo un ciclo pero nos queda una vida de unión, su apoyo, confianza, empuje, risas, abrazos y hasta lágrimas, absolutamente todo lo llevo muy bien guardado, gracias a todos, los quiero.

-A la vida, pues siempre me ha dado grandes lecciones que lejos de hacerme caer me han mantenido fuerte, con la cara en alto y me hacen crecer en todo momento.

**Para ustedes  
Angello Vazquez**

## **Agradecimientos**

A mi alma mater, la Universidad Autónoma del Estado de México por no solo permitirme formar un sueño, si no ser parte de una generación de profesionistas entregados y capaces de ayudar al bien de nuestro entorno.

A mi segunda casa, la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por cobijarme en sus aulas y permitir concretar mis estudios profesionales.

Al comité asesor, M. en C. Luis Fernando Vega Castillo, M. en A. Eduardo Nava Nava y de manera muy especial a la Dra. en C. María Antonia Mariezcurrena Berasain por abrirme las puertas de todo su conocimiento y experiencia, tiempo, paciencia, apoyo, confianza y libertad para concretar este trabajo.

A mi comité revisor, IAF. Lourdes García Bello y a la Dra. en C. Celene Salgado Miranda porque cada una de sus observaciones y sugerencias en base a su experiencia, me permitieron una mejora excepcional en mi trabajo.

A cada uno de mis profesores quienes durante todo este tiempo me compartieron de sus conocimientos e incentivaron de distintas formas para llegar hasta este punto.

Familia, amigos y a Dios, pues sin ustedes esto no sería posible.

A todos, ¡MUCHAS GRACIAS!

## Introducción

La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) pertenece a la familia *Salmonidae*. Es una especie nativa de la costa este del Océano Pacífico desde Alaska hasta México, que habita en aguas dulces, cristalinas de baja temperatura; que oscila entre los 5 a 12 °C. Es un pez de distribución y producción a nivel mundial (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina, 2011).

La trucha arcoíris es un pez semigraso cuya masa muscular está basada en ácidos grasos especialmente del tipo linolénico; posee proteínas, minerales y vitaminas de alto valor biológico. Entre los minerales que presenta se encuentra potasio, fósforo, sodio, magnesio, hierro, calcio y zinc. Respecto a las vitaminas que aporta destacan la A (Retinol), B1 (Tiamina), B2 (Riblofavina) y B3 (Niacina). Por estas características se considera un alimento nutritivo (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina, 2011).

Actualmente la piscicultura contribuye de manera significativa a la producción de alimentos de origen animal para consumo humano y dentro de éstos, la familia de los salmónidos forma uno de los grupos que colabora de manera efectiva a dicha demanda (Carrera *et al.*, 1998).

La industria de los alimentos requiere carne con adecuadas características tecnológicas, ya que los consumidores demandan productos cárnicos de alta calidad nutritiva y bajos niveles de grasa, mientras que al productor le interesan los grandes rendimientos (García *et al.*, 2004), cabe destacar que la trucha arcoíris se caracteriza por tener un alto contenido de parte comestible, se pueden indicar que es una especie apropiada para cualquier proceso de transformación. Por otro lado el resto de componentes puede ser destinado para la producción de ensilados de

pescado que puede ser utilizado como fuente de proteína en la alimentación animal (Chiyong, 2010).

En México, no se cuenta con suficiente investigación en el área de calidad de la canal y carne de trucha arcoíris, lo que obliga a desarrollar investigación documental y aplicada, con el objeto de caracterizar la especie, además es necesario realizar trabajos de investigación que retroalimenten a los productores para que de esta manera cuenten con información especializada y la apliquen para que puedan ser competitivos al optimizar sus recursos (García *et al.*, 2004).

Es por ello que el objetivo de este documento es constituir una herramienta de consulta para que médicos veterinarios zootecnistas y piscicultores cuenten con información que les permita mejorar la calidad de sus productos.

## **I. JUSTIFICACIÓN**

El sector productor de alimentos de más rápido crecimiento a nivel mundial es la acuicultura, misma que contribuye con el 50% de la proteína de origen animal en el mundo. Desempeña un papel importante en la diversificación de oportunidades económicas de países emergentes, reduce la migración y contribuye a mejorar la calidad de vida principalmente en comunidades rurales.

El cultivo de trucha arcoíris en el Estado de México se puede considerar un caso de éxito, manifestado en el crecimiento acelerado que ha tenido en un periodo de tiempo relativamente corto (33 años).

El papel del Médico Veterinario Zootecnista dentro de la producción acuícola es vital para poder establecer técnicas productivas y sanitarias adecuadas con la finalidad de producir carne de calidad, sin embargo, existe poca información y capacitación sobre los factores que la afectan.

Es por ello que este documento tiene la finalidad de recopilar la información para el MVZ., productor o cualquier persona interesada en conocer los factores que afecten la calidad de la carne de trucha y los métodos que se utilizan para determinar la misma.

## **II. OBJETIVO**

Elaborar un documento que contenga información actualizada de los factores que afectan la calidad de la carne de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), así como las técnicas instrumentales y no instrumentales para la medición de la calidad de la carne para consumo humano.

### **III. MATERIAL Y MÉTODO**

#### **3.1 Material**

Para la realización del presente trabajo se hizo uso de la biblioteca de la FMVZ UAEM en El Cerrillo. Así como de la información de los artículos de la biblioteca digital de la UAEMex y sus bases de datos como lo son Redalyc y PubMed.

Palabras clave: trucha, carne, pescado.

Se utilizó una computadora y material de escritorio.

#### **3.2 Método**

Para la búsqueda de los documentos bibliográficos se utilizaron varias fuentes documentales. Se realizó una búsqueda bibliográfica utilizando descriptores en español e inglés: trucha, carne, pescado, biotecnología, alimentación, calidad de carne; meat, rainbow trout, characteristics of meat, muscle, muscle characteristics, changes, meat analysis, sensory analysis, respectivamente. Tras la combinación de las diferentes palabras clave, también se elaboró una búsqueda de artículos científicos en la web con los mismos términos. Se seleccionaron aquellos documentos que tuvieran información sobre las truchas en general, sus diferentes parámetros, la alimentación, la calidad de la carne y factores que la afectan y la importancia en México. La diferente temática se desarrolló de la siguiente forma:

## I. Importancia económica y generalidades de la carne de trucha

### 1.1 Importancia económica

#### 1.1.1 En el mundo

La acuicultura, actualmente contribuye de manera significativa a la producción de alimentos de origen animal para consumo humano, sin embargo la piscicultura está tomando auge debido a la conservación del ambiente, por lo tanto la producción de peces de manera establecida hoy en día aporta carne de mejor calidad, siendo, la familia de los salmónidos el grupo que colabora de manera efectiva para cubrir la demanda de alimento de alto valor nutritivo (Carrera *et al.*, 1998).

La producción acuícola es considerado como un sector productor de alimentos de más rápido crecimiento a nivel mundial, constituye el 50% del alimento acuático en el mundo y se percibe como la actividad con el mayor potencial para satisfacer la demanda de alimentos (FAO, 2006-2010). Desempeña un papel importante en la seguridad alimenticia, diversificación de oportunidades económicas de países en desarrollo; generación de empleos, reduce la migración y contribuye a mejorar la calidad de vida principalmente en comunidades rurales (Vâradi, 2001; Bozoğlu *et al.*, 2007).

Su éxito y crecimiento acelerado, se debe en gran medida a la percepción generada por sectores públicos y privados como fuente favorable y provechosa para el desarrollo económico de los países (NACA/FAO, 2001). Así mismo, los cambios en políticas macroeconómicas, estructuras institucionales, cuestiones legales y mercados domésticos e internacionales han permitido que el ambiente para el desarrollo de la piscicultura haya experimentado esta tendencia positiva (Morales y Morales, 2005).

La trucha arcoíris ha tenido un interesante crecimiento desde el año 2000 en donde se registró una producción de 447 mil toneladas mundiales y se ha estimado que para el año 2010 habría alcanzado las 662 mil toneladas mundiales, representando ello un crecimiento a una tasa anual de 3,63% a nivel mundial sobre la producción de esta especie (Ministerio de la Producción Perú, 2011).

**Cuadro 1. Principales países productores de trucha arcoíris en el mundo 2010**

<b>País</b>	<b>% en la producción mundial</b>
Chile	24,39
Noruega	13,27
Irán	11,03
Italia	6,66
Francia	5,68
Dinamarca	5,54
Alemania	3,88
España	3,78
China	2,95
Polonia	2,91
Estados Unidos de América	2,86

Fuente: Ministerio de la producción Perú (2011).

Cabe señalar que en el 2010 la zona americana produjo el 31,77% (214 mil toneladas mundiales) de la producción mundial de trucha arcoíris.

**Cuadro 2. Principales productores mundiales de trucha arcoíris en el continente americano**

<b>País</b>	<b>% de producción</b>
Chile	75
Estados Unidos de América	8,1
Perú	7,60
Estados Unidos Mexicanos	3,05
Colombia	2,51

Fuente: Ministerio de la producción Perú (2011).

Los principales productos de exportación de trucha arcoíris a nivel mundial se agrupan en tres tipos: trucha congelada, trucha fresca o refrigerada y trucha viva. Actualmente la demanda de trucha arcoíris sigue en aumento especialmente en países de la Unión Europea y esto debido a que el ingreso per cápita les permite la adquisición de este tipo de productos, cuestión que no se observa en los países de Latinoamérica y Centroamérica ya que los ingresos per cápita son mucho más bajos, esto excluyendo a Chile el cual tiene tanto una demanda como una producción significativa de trucha (Ministerio de Agricultura, 2010).

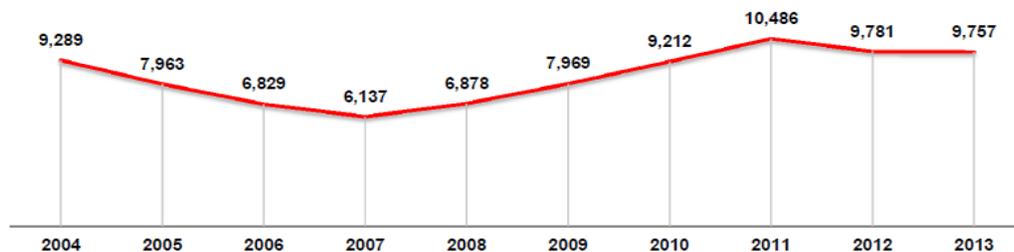
### **1.1.2 En México**

Dentro de la acuicultura la piscicultura y pesca forman parte esencial del quehacer económico y social del país. Sin embargo, la sobreexplotación de las pesquerías y el aumento en el consumo de productos de origen acuático, han ocasionado que la piscicultura se convierta en una alternativa viable para ampliar y contribuir a la oferta alimentaria, creando fuentes permanentes de empleo, estimulando el desarrollo regional y la generación de divisas (FAO, 2006-2010).

El cultivo de trucha arcoíris en México inició a finales del siglo XIX, en el primer vivero natural en Chimela Lerma, Estado de México, con el fin de realizar repoblamiento en cuerpos de agua nacionales. En 1937 se formalizó la reproducción de trucha arcoíris, y por decreto se creó, en el Estado de México, el centro piscícola en Salazar, que en 1943 se convirtió en el Centro Acuícola "El Zarco". En 1950 entró en funcionamiento el Centro Acuícola de Pucuateo, Michoacán que actualmente es operado por el Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA) y se encuentra certificado como Unidad de Cuarentena por parte del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). La truticultura es una actividad considerada como rentable; sin embargo ésta es afectada por diferentes enfermedades en los cultivos y en algunos casos por la falta de una buena calidad y volumen de agua. La actividad trutícola se realiza principalmente en zonas con climas de templado a frío y en sitios con altitud superior a los 1,200 m sobre el nivel del mar (SAGARPA, 2013).

Actualmente, por su producción en volumen la trucha se encuentra posicionada en el lugar 18 de la producción pesquera en México; sin embargo, por su valor se encuentra en el lugar siete. La tasa media de crecimiento anual de la producción en los últimos 10 años es de 0.49% pasando de 9,289 t en el año 2004 a 9,757 t en el 2013 (Gráfica 1) (CONAPESCA, 2013).

**Gráfica 1. Producción anual de trucha a nivel nacional**



**SERIE HISTÓRICA DE LA PRODUCCIÓN DE TRUCHA**

ENTIDAD	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>TOTAL</b>	<b>9,289</b>	<b>7,963</b>	<b>6,829</b>	<b>6,137</b>	<b>6,878</b>	<b>7,969</b>	<b>9,212</b>	<b>10,486</b>	<b>9,781</b>	<b>9,757</b>
MÉXICO	3,119	2,289	2,580	2,827	3,003	3,713	3,046	3,786	3,516	3,709
VERACRUZ	2	5	13	6	686	640	905	872	1,962	2,220
PUEBLA	831	866	864	793	902	919	1,094	3,284	2,379	1,485
TAMAULIPAS	2,189	2,065	1,035	1,053	1,197	1,186	1,407	1,052	716	751
MICHOACÁN	249	285	342	248	450	337	473	393	321	670
HIDALGO	104	84	121	118	141	272	737	406	365	298
CHIHUAHUA	99	124	61	166	176	41	230	195	220	176
DURANGO	152	160	232	160	213	758	1,182	400	194	123
OAXACA	-	-	-	-	-	-	-	-	6	104
OTRAS*	2,544	2,084	1,582	765	111	103	137	98	101	222

\*CAMPECHE, CHIAPAS, GUANAJUATO, JALISCO, MORELOS, NAYARIT, NUEVO LEÓN, QUERÉTARO Y TLAXCALA.

Fuente: CONAPESCA (2013).

### 1.1.3 En el Estado de México

El crecimiento de la actividad trutícola, se ha asociado principalmente a regiones donde las condiciones climáticas y de los ecosistemas contribuyen al desarrollo del sector (FAO, 2006-2010). Particularmente en el Estado de México la producción anual promedio ha sido de 1 880 t durante los últimos 12 años, convirtiéndolo en el principal productor nacional de trucha arcoíris con una participación equivalente al 52% de la producción nacional (SAGARPA, 2011).

Clara evidencia es el incremento de las unidades de producción trutícola pasando de 7 en 1983 (SAGARPA, 1998), a 284 en 2009 (Sistema Producto Trucha Nacional, 2009), con las cuales en varios años se han superado las 3 000 t (SAGARPA 2008; CONAPESCA, 2013). Tal es así que para el año 2013 se registró un aproximado de 3 709 t (CONAPESCA, 2013).

El cultivo de trucha arcoíris genera oportunidades para mejorar la producción comercial de especies de peces de agua fría, animando a la gente de las regiones montañosas a participar en su cultivo, por lo que no solo desempeña un papel importante por la generación de ingresos; sino también proporciona oportunidades de empleo a otras personas involucradas en los eslabones productivos, tales como la comercialización o el procesamiento del producto. En este sentido la producción de trucha en el Estado de México ha cumplido exitosamente con estas características, pues si bien la visión de los productores aun es de una actividad complementaria a la agricultura o ganadería, en la realidad y a decir de ellos la venta de trucha es un ingreso semanal fijo donde la venta a pie de granja, ya sea fresca, preparada o a mayoristas es segura, lo cual sin que ellos aun así lo reconozcan, se ha convertido en una actividad económica generadora de la principal fuente de ingresos en la mayoría de los casos. Así pues, en el desarrollo de la producción de trucha en el Estado de México han ocurrido una serie de factores, homólogos a lo ocurrido en otras partes del mundo, generando una actividad exitosa, de acuerdo al crecimiento tanto en unidades de producción trutícola, como a la cantidad de toneladas producidas para consumo y el número de empleos generados (García *et al.*, 2013).

## **1.2 Carne**

### **1.2.1 Generalidades**

Se llama carne al tejido muscular del animal después de su sacrificio, el cual se considera como un derivado animal, fresco o transformado, que por su valor nutritivo es utilizado por el hombre para alimentarse o satisfacer su gusto (Bavera, 2006).

La carne es considerada como un producto pecuario de alto valor. Debido a que posee proteínas de alta calidad, aminoácidos esenciales, minerales, grasas, ácidos

grasos, vitaminas, carbohidratos y otros componentes bioactivos. Sin embargo la calidad que se brinda a los animales durante su crianza y sacrificio tiene un efecto significativo en el estándar de la carne producida. Los factores que ejercen una mayor influencia son la alimentación, la edad, los factores genéticos y el estado de salud. Se han realizado importantes esfuerzos para mejorar la producción y calidad de la carne mediante programas de mejoramiento genético (FAO, 2016).

Específicamente hablando de la carne de pescado, desde la prehistoria, ha sido capturado para el consumo, primero por los homínidos (*Australopithecus* y *Homo erectus*) y luego por los hombres (*Homo sapiens*) (Stewart, 1994). Existe suficiente evidencia arqueológica que los hombres ya pescaban en la era paleolítica inferior, hace más de 100 000 años y el primer registro del pescado como alimento de los *H. sapiens* tiene 380 000 años. En tiempos prehistóricos, hay amplia evidencia que las poblaciones europeas utilizaban habitualmente el pescado como alimento, siendo el salmón, uno de los peces más consumidos, y algunas poblaciones amerindias y africanas fueron conocidas como recolectores de bivalvos (Toussaint-Samat, 1992).

### **1.2.2 Composición química de la carne de trucha**

El pescado es un alimento de los más completos por su calidad y cantidad de nutrientes. La composición química de la carne de los peces varía considerablemente entre las diferentes especies y también entre individuos de una misma especie, dependiendo de la edad, sexo, tejido muscular, ambiente e incluso la estación del año (FAO, 1998).

Los principales componentes químicos de la carne de los peces son: agua, proteína y lípidos. El contenido en agua varía entre 60 o 80% y es inversamente proporcional al contenido graso (Gil, 2010). El contenido en proteínas es bastante constante. El

colágeno se encuentra en baja proporción y se convierte fácilmente en gelatina con el calentamiento (Badui, 2012). El contenido de hidratos de carbono es bajo generalmente inferior a 0,5% (Gil, 2010).

La carne de trucha contiene una menor proporción de ácidos grasos saturados (conocidos como “grasas malas”), mayor proporción de ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) y ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) especialmente del tipo omega 3. Los ácidos grasos específicos son el eicosapentaenoico (EPA) y el docosahexaenoico (DHA). Ambos son ácidos grasos polinsaturados de cadena muy larga de la familia omega 3 (n-3). El principal esteroide del músculo de peces es el colesterol, cuya proporción varía entre especies (Gil, 2010).

La cantidad de vitaminas y minerales es específica de la especie y, además, puede variar con la estación del año. Estos elementos representan aproximadamente el 2% (Larrañaga *et al.*, 2001).

Además, en la composición química se pueden distinguir compuestos nitrogenados no proteicos, tales como, bases volátiles como el amoníaco, y óxido de trimetilamina (OTMA), creatina, aminoácidos libres, nucleótidos, bases púricas, urea (este último solo en peces cartilagosos) (FAO, 1998).

El músculo oscuro presenta una composición química diferente al músculo blanco. El primero posee un alto contenido de lípidos y hemoglobina en relación al blanco (FAO, 1998). En general, los músculos oscuros contienen alrededor de 2 o 5 veces más lípidos que los músculos blancos (Gil, 2010).

La trucha arcoíris es un pescado semigraso de sabor suave, bajo en grasa (3%). Es una buena fuente de ácidos grasos omega 3, posee proteínas de alto valor biológico y aporta minerales y vitaminas. Entre los minerales que presenta se encuentran

potasio y fósforo, y en menor cantidad sodio, magnesio, hierro, calcio y zinc. Respecto de las vitaminas que aporta, se destacan la A (retinol), B1 (Tiamina), B2 (Riboflavina) y B3 (Niacina). Por estas razones se considera un alimento nutritivo (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina, 2011).

En cuanto a la digestibilidad *in vitro* de la proteína de la carne de trucha se encuentra en un rango de 93.9 a 99.8%, por lo tanto, se considera que su carne es comparable en calidad y cantidad proteica con la carne de mamíferos y aves. Por otra parte, la presencia de grasa en carne es de gran importancia en la calidad de la misma, ya que está relacionada con la textura, jugosidad y sabor. La cantidad y composición de la grasa asociada a la carne es, por tanto, uno de los criterios de aceptación de la misma, sin embargo, el exceso de grasa de origen animal está relacionado habitualmente con efectos negativos a la salud, pero a diferencia de otras grasas animales, la carne de trucha tiene la ventaja de poseer mayores concentraciones de grasas poliinsaturadas, cualidad deseable en la dieta porque estas tienden a disminuir el colesterol sanguíneo (García *et al.*, 2008).

Las características sensoriales como el sabor, color, textura y el valor nutricional, representan una motivación de compra, sobre todo en los productos cárnicos. Por ello, las preferencias del consumidor determinadas mediante análisis sensoriales, tienen como objetivo ayudar tanto a los productores como a los industriales, a desarrollar y elaborar nuevos productos (Chambers y Bowers, 1993). Se reconoce también que la calidad de un producto, depende de los métodos de preservación, materias primas utilizadas y procesamiento entre otras (Lakshmanan *et al.*, 2003).

## II. Tejido muscular

### 2.1 Músculo

Los principales músculos del cuerpo de los peces están dispuestos a lo largo de los costados del tronco y de la cola, cada masa muscular está compuesta por una serie de segmentos entrecruzados (Sayas *et al.*, 2009).

Los peces están sujetos a una serie de factores que condicionan las características de sus músculos: primero, el cuerpo del pez está suspendido en el agua, por lo cual no requiere de un tejido conectivo extenso y fuerte para mantener y soportar los músculos; segundo, como la mayor parte de los peces son animales poliquiloterms y viven en un entorno frío, las proteínas de sus músculos tienen propiedades distintas a las de las especies de sangre caliente. Por lo tanto, la estructura del músculo de pescado es notablemente diferente de la de los animales terrestres y las aves (Foegeding *et al.*, 2000).

Existen tres principales tipos de músculo: estriado, liso y cardíaco, los cuales pueden ser fácilmente distinguidos de manera histológica. Desde el punto de vista de su inserción, existen dos clases: esquelético (estriado) y no esquelético (liso y cardíaco); en relación a su función, existen también dos tipos: voluntario (esquelético o estriado) e involuntario (liso y cardíaco) (Layler *et al.*, 1984).

El músculo liso está localizado en muchos órganos diferentes, como:

- a) En el tracto digestivo: fibras longitudinales y circulares, responsables de producir movimientos y desplazamiento del alimento en el tracto (peristalsis); en la vejiga gaseosa también se encuentran estas dos clases de fibras.
- b) En las arterias: Fibras musculares que mantienen la presión sanguínea.
- c) En los conductos reproductores y excretorios: desplazan los productos.

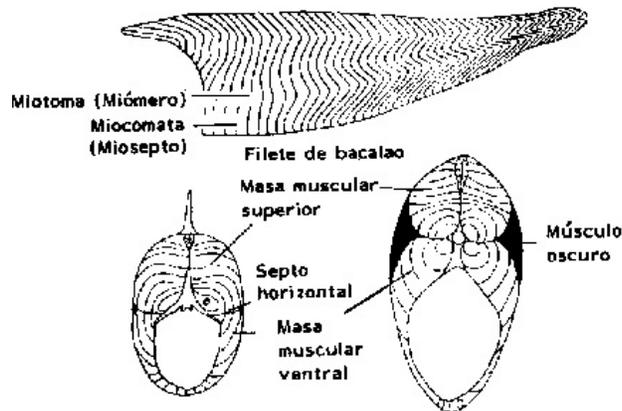
- d) En el ojo: acomodación de la visión mediante movimientos en el lente (cristalino) y regulación de la intensidad de la luz (dilatación o contracción del iris); que difieren en desarrollo y función en los diferentes grupos de peces.

El músculo cardiaco es de color rojo oscuro, en contraste con el músculo estriado cuyo color varía del blanquecino al rosado (raramente café rojizo). Su contracción es involuntaria. La masa muscular es más gruesa en las paredes del ventrículo; el atrio o aurícula tiene paredes relativamente delgadas. La musculatura del corazón (miocardio) está cubierta externamente por el epicardio e internamente por el endocardio, ambos componentes esqueléticos membranosos del pericardio (Layler *et al.*, 1984).

El músculo estriado que da lugar, tras la muerte del animal, a la carne; tiene como unidad funcional al miocito o fibra muscular. Sin embargo, la anatomía del músculo difiere de la de los animales terrestres al carecer de un sistema tendinoso que conecte los paquetes musculares al esqueleto del animal (Venugopal y Shahidi, 1996).

La carne está formada por bloques musculares adyacentes, denominados miótomos y separados uno del otro por láminas de colágeno denominadas miocomata. Los miótomos de los dos lados del esqueleto axial forman una W y corren a lo largo del cuerpo formando series seguidas de W. Dentro de cada miótomo, las fibras musculares (miómeros) corren de forma paralela formando ángulos que favorecen los movimientos necesarios durante el nado. El miocomata está conectado internamente a la piel y al sistema esquelético, unido a la membrana que divide el pescado en región epiaxial o dorsal e hipoaxial o ventral a través de un *septum* horizontal (Figura 1). La unión entre miómero y miocomata es realizada por el colágeno, el cual tiene su origen en el miocomata y envuelve cada fibra muscular (Love *et al.*, 1972).

**Figura 1. Disposición del miotoma, miocomata y separación de masas musculares**



Fuente: FAO (1998).

### 2.1.1 Fibras musculares

La disposición de las fibras musculares del cuerpo de la trucha arcoíris se basa en la necesidad de flexionar el cuerpo para la propulsión en el agua. Las fibras musculares tienen los componentes típicos: sarcolema, miofibrillas contráctiles, fluido celular o sarcoplasma y organelos. Contienen de 1000 a 2000 miofibrillas, cada una de 5 micromilímetros de diámetro, responsables del aspecto estriado de las fibras musculares. Las miofibrillas ocupan un volumen considerable de la célula y son responsables de los cambios en la capacidad de retención de agua del músculo, esta alta capacidad de retención de agua de las proteínas miofibrilares, se refleja en una mayor jugosidad (Goodband, 2002).

### 2.1.2 Tipos de músculo

Los músculos se pueden clasificar como blancos o rojos, o bien histológicamente de acuerdo con la actividad enzimática (ATPasa) relacionada con la velocidad de la contracción y los tipos de metabolismo energético.

De acuerdo a lo anterior, se distinguen 3 tipos (Foegeding *et al.*, 2000).

- Tipo I: Músculos de contracción lenta oxidativa, también llamados  $\beta$ R.- Compuesto de fibras color rojo de pequeño diámetro con metabolismo oxidativo y baja actividad mATPasa.
- Tipo II A: Músculos de contracción rápida oxidativa, también llamados  $\beta$ W.- Formado por fibras con una coloración rosada cuyas propiedades histoquímicas son diversas y de diámetros variables.
- Tipo II B: Músculos de contracción rápida glicolítica, también llamados  $\alpha$ W.- En la mayoría de las especies representa prácticamente el espesor completo de los miómeros, y está formado por fibras color blanco de gran diámetro, con metabolismo glicolítico y baja actividad mATPasa.

Las propiedades histoquímicas de los 3 principales músculos varían (Carpene *et al.*, 1982), por lo que no es posible definir un comportamiento estándar de los músculos, no obstante, poseen una serie de aspectos característicos.

#### 2.1.2.1 Tipo I: Músculos de contracción lenta oxidativa, también llamados $\beta$ R

Desde el punto de vista histoquímico, las fibras rojas tienen baja actividad mATPasa (alcalino y ácido lábil) (Ramírez-Zarzosa *et al.*, 1998; López-Albors *et al.*, 1998) por lo que se les considera como fibras de contracción lenta y fatigoresistentes.

Tienen alto contenido de enzimas características del metabolismo aeróbico. Además de las fibras rojas “típicas”, se describen también poblaciones fibrilares minoritarias con propiedades contráctiles propias y diferentes. Dentro de este grupo destacan las “fibras tónicas”. Se consideran también las fibras del “borde muscular rojo”, las “fibras desplazadas”, las “rojas profundas”, “fibras de pequeño diámetro” y las “rojas de la roseta o en crecimiento” (López-Albors *et al.*, 1998; Ramírez-Zarzosa *et al.*, 1998).

Desde el punto de vista funcional, según Carpenne y colaboradores (1982), las fibras tónicas pueden estar especializadas en la comunicación visual y acústica.

López Albors *et al.* (1998) y Ramírez-Zarzosa *et al.* (1998) indicaron que las rosetas del músculo rojo son puntos de génesis de nuevas fibras rojas y que, además, contienen algunas fibras equiparables histoquímicamente a las fibras de contracción tónica, descritas en ciertos músculos de mamíferos y aves (Rowlerson *et al.*, 1995). Las rosetas aparecen a modo de agrupaciones fibrilares heterogéneas, que, a partir del septo horizontal, se disponen de forma salteada hacia los límites epi e hipoaxiales. Están integradas por diferentes perfiles mATPásicos: predominan las fibras con alta actividad mATPasa alcalino y ácidoestable, si bien se describen también fibras con una actividad moderada y escasa (semejante a las fibras rojas adultas) (Florenciano, 1999).

Desde el punto de vista ultraestructural, las fibras rojas son de pequeño tamaño y de menor diámetro que las blancas de contracción rápida (Kilarski y Kozłowska, 1985). Sus diámetros oscilan entre 10-50  $\mu\text{m}$ , se han observado diferencias dentro de un mismo individuo, encontrando un ligero aumento del diámetro de las fibras a medida que se analizaban zonas más próximas a la aleta caudal. El rasgo más característico de las fibras rojas es la gran cantidad de mitocondrias, que oscila entre un 30 o 60% o incluso un 78% (Kilarski *et al.*, 1992).

Además de su cantidad, también llama la atención la disposición de las mitocondrias, no sólo rodeando las miofibrillas, sino también situándose entre ellas (Shindo *et al.*, 1986). Los núcleos se localizan normalmente en la periferia de las fibras, preferentemente hacia la membrana interna (Veggetti *et al.*, 1990; Ramírez-Zarzosa *et al.*, 1998). Las fibras rojas contienen también miofibrillas en un 40 o 60%, retículo sarcoplásmico y sistema de túbulos T, menos abundante que en las fibras blancas. La disposición de las miofibrillas es radiada o formando anillos y bucles (Ramírez-Zarzosa *et al.*, 1998). El glucógeno, más abundante que en las fibras blancas, se dispone en el sarcoplasma formando rosetas o pequeñas cadenas (Florenciano, 1999).

La cantidad o proporción de músculo rojo, específicamente en la trucha arcoíris (*Onchorinchus mykiss*) no supera el 4%. El músculo rojo resulta más abundante en los miómeros más caudales, por lo que se relaciona con los movimientos natatorios. La proporción de este tipo de músculo varía también en las fases iniciales larvarias, en las que se observa el máximo porcentaje de músculo rojo respecto al total del miotomo. Esto da lugar a un aumento de la superficie corporal a través de la cual, el músculo rojo participa en la respiración cutánea en ausencia de agallas funcionales (Ayala *et al.*, 1999).

Otro factor que influye notablemente en la cantidad de músculo rojo es la temperatura del agua, detectándose un incremento de la proporción de este músculo con la aclimatación al frío. Desde el punto de vista funcional, se considera que el músculo rojo está implicado en la natación sostenida a baja velocidad (Carpene *et al.*, 1982).

### **2.1.2.2 Tipo II A: Músculos de contracción rápida oxidativa, también llamados $\beta$ W**

Compuesto de fibras situadas entre el músculo rojo y blanco, su cantidad y composición fibrilar es variable. Histoquímicamente, en la trucha, las fibras rosas tienen una actividad mATPasa ácido y alcalino lábil (Mascarello *et al.*, 1986).

Estas fibras aparecen más tarde que las fibras rojas y blancas, pero adquieren sus características histoquímicas más rápidamente (Scapolo *et al.*, 1998). Es probable que el origen de estas fibras derive de una población de mioblastos próxima al presuntivo músculo rojo (Ramírez-Zarzosa *et al.*, 1998).

Este tipo de músculo presenta una actividad oxidativa y glicolítica intermedia respecto a los otros dos músculos, carácter intermedio que se refleja también en los depósitos de glucógeno y de lípidos (Carpene *et al.*, 1982).

Ultraestructuralmente, se presentan características intermedias a los otros dos tipos de músculos. El retículo sarcoplásmico es abundante y los depósitos de glucógeno bastante frecuentes. La presencia de mitocondrias es alta y están situadas tanto en la periferia como en el centro de las fibras (Kilarski y Kozłowska, 1985; 1987).

Desde el punto de vista funcional, son catalogados como de contracción rápida y fatigoresistentes, ya que muestran niveles de actividad histoquímica y metabólica intermedios respecto a los otros tipos de músculo. Se piensa que es una zona de continuo reemplazamiento de fibras (Mosse y Hudson, 1977).

### **2.1.2.3 Tipo II B: Músculos de contracción rápida glicolítica, también llamados $\alpha$ W**

Tipo de músculo cuyas fibras tienen alta actividad mATPasa y muestran baja actividad las enzimas aeróbicas. El metabolismo de las fibras blancas puede considerarse fundamentalmente glicolítico, dada su débil reacción SDH y NDH-TR, escasez de glucógeno y de lípidos (Shindo *et al.*, 1986).

Ultraestructuralmente, las fibras blancas tienen forma poligonal y están ocupadas casi totalmente por miofibrillas, entre un 80-90% según Johnston y Moon (1981). Estas miofibrillas se presentan empaquetadas y se distribuyen radialmente en torno al eje central del sarcoplasma (Sänger *et al.*, 1990; Ramírez-Zarzosa, 1992). El sarcoplasma raramente contiene depósitos de glucógeno y vacuolas de grasa. Las mitocondrias son escasas, de pequeño tamaño, con crestas cortas y tubulares, suelen situarse en la periferia de las fibras (Ramírez-Zarzosa *et al.*, 1998). El retículo sarcoplásmico es más abundante y sus cisternas más dilatadas que en las fibras rojas (Sänger *et al.*, 1990; Veggetti *et al.*, 1990). El tamaño de estas fibras varía en función de la existencia o no de un mosaico muscular blanco, aunque en general es mayor que el de las rojas (Kilarski y Kozłowska, 1985).

Desde el punto de vista funcional este tipo de músculo es de contracción rápida y fatigosensible. Es el estrato muscular más profundo y más amplio del miotomo, llegando a ocupar la mayor parte del mismo. La proporción del músculo varía en un mismo individuo al igual que el músculo rojo, pero, al contrario que éste, resulta más abundante en las zonas craneales, para decrecer hacia los miómeros más caudales (Ramírez-Zarzosa *et al.*, 1998).

### 2.1.3 Clasificación según su color

En los peces se pueden distinguir músculos con apariencia blanca u oscura, por ello se pueden clasificar como músculos blancos y rojos. Su aspecto rojo o blanco está relacionado con su metabolismo energético. El músculo rojo está situado a lo largo de la línea lateral, y su proporción con el músculo blanco varía de acuerdo con la actividad del pez (Sayas *et al.*, 2009).

Los músculos blancos tienen una contracción rápida, requieren de una fuente de energía de fácil disponibilidad, por ello la glucólisis es la ruta predominante utilizada por estos músculos. Muestra una progresión más rápida hasta alcanzar el pico de tensión y declina a la tensión de reposo más lentamente, es de composición uniforme sin importar el lugar donde se localice (Sayas *et al.*, 2009).

Los músculos blancos poseen mayor contenido en actividad ATPasa, ácidos glucolíticos y agua (Venugopal y Shahidi, 1996). Generan energía principalmente mediante el metabolismo anaeróbico, acumulando ácido láctico, el cual debe ser transportado al hígado para su metabolización. El músculo blanco está adaptado para movimientos súbitos, fuertes y cortos (FAO, 1998).

Por otro lado, los músculos rojos son de contracción lenta, dependen principalmente del metabolismo oxidativo, lo cual exige más cantidad de mioglobina para almacenar oxígeno; por ello, estos músculos son más rojos (u oscuros) que los músculos de contracción rápida (blancos) (Sayas *et al.*, 2009).

La composición del músculo rojo varía en función de su localización, conteniendo más lípidos en la parte anterior del pez, y más agua y proteínas en la posterior. Así mismo, cuando el pez aumenta de peso, los lípidos se acumulan principalmente en el músculo oscuro anterior. El contenido de glucógeno también es mayor a

diferencia del músculo blanco. Los músculos rojos contienen más mitocondrias y menos retículo sarcoplásmico que las fibras blancas, y mayor cantidad (de 2 a 5 veces) de lípidos, vitamina B, glucógeno y ácidos nucleicos. Son ricos en enzimas del ciclo del ácido carboxílico, transporte de electrones, síntesis de glucógeno y lipólisis. Su fuente de energía puede ser mediante glucógeno, aunque también la puede obtener a partir de lípidos. Este tipo de músculo está diseñado para movimientos continuos, aunque no tan fuertes (Hard, 1999).

La mayor diferencia entre músculos radica en que el músculo rojo posee más mitocondrias que el músculo blanco, lo que le permite operar extensivamente con un metabolismo de energía aerobia, lo cual resulta en la producción de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O como productos finales (Sayas *et al.*, 2009).

## **2.2 Fibra muscular estriada**

El músculo esquelético o estriado está formado por fibras musculares, células alargadas y estrechas, multinucleadas, que miden de 10 a 100 micrómetros de diámetro, siendo más ancho en la pared central del filete (FAO, 1998).

Si se observa al microscopio, las miofibrillas del músculo estriado muestran una clara anisotropía, lo cual se debe a que se encuentran divididas en sarcómeros, que están compuestos por filamentos gruesos y delgados, con un ordenamiento alternativo de bandas anisótropas (banda A o banda oscura) e isotropas (banda I o banda clara) limitadas por las líneas Z. En el centro de la banda A se observa una banda clara llamada banda H, y cruzando ésta se localiza una línea oscura llamada línea M. La organización de los filamentos gruesos y delgados es la responsable del característico patrón de bandas del músculo (Sayas *et al.*, 2009).

Los filamentos gruesos están compuestos por moléculas de miosina (200 a 400 moléculas), mientras que los delgados están formados por dos cadenas enrolladas en doble hélice de actina. Durante la contracción ambos filamentos se acercan uno al otro. Otras proteínas que envuelven al aparato contráctil son la tropomiosina y la troponina, que se encuentra en los filamentos delgados (Venugopal y Shahidi, 1996).

Este tipo de fibras se caracterizan por tener una organización de proteínas contráctiles compleja y precisa dentro de las miofibrillas, visualizándose como unidades repetitivas los sarcómeros. Asociadas a las proteínas miofibrilares se encuentran las proteínas del citoesqueleto, elementos clave para el mantenimiento de la estructura muscular, las cuales forman una red tridimensional dentro y entre las fibras musculares (Goodband, 2002). Por otro lado, las proteínas miofibrilares del pescado (miosina, actina, entre otras) son más sensibles a la desnaturalización y a la proteólisis que las de la carne roja.

### **2.3 Composición del músculo estriado**

Desde el punto de vista nutricional, la carne de la trucha arcoíris puede ser comparada favorablemente con otros músculos de origen animal (García *et al.*, 2004).

Dentro de la composición de la carne encontramos algunas diferencias entre especies. Entre las principales que existen tenemos la fracción lipídica, de ahí que en ello se base frecuentemente su clasificación (Tabla 1). Algunos de los factores que afectan estas diferencias son de naturaleza intrínseca (genética, morfológica y fisiológica) y otros de naturaleza ambiental, como aquellos relacionados con condiciones de vida, especialmente la alimentación (FAO, 1998).

**Tabla 1. Clasificación de los peces según el contenido de grasa**

Grasos (>15%)	Semigrasos (5-15%)	Magros (<5%)
Jurel	Barracuda	Tilapia
Arenque	Perca	Bacalao
Macarela	Cabezudo	Róbalo
Salmón	<b>Trucha</b>	Merluza
Atún		Plantija
Sardina		Chicharro

Fuente: Rodríguez y González (1984).

Los componentes principales de la carne de trucha son: agua, proteína y lípidos, los cuales representan aproximadamente el 98% de la masa total. El resto de la masa corporal está representado por componentes menores, como carbohidratos (0.1 a 1%), vitaminas y minerales, que juegan un papel muy importante en las reacciones bioquímicas durante la vida e influyen en los cambios *post mortem*. Destaca, por intereses nutritivos, su contenido de sales minerales y vitaminas, sobre todo vitaminas A y D, y en segundo lugar por las vitaminas del complejo B (Moreiras *et al.*, 2013) (Tabla 2).

**Tabla 2. Composición nutricional de la carne de trucha**

Componentes de la carne de trucha	Por 100 g de porción comestible
Proteínas (g)	15.7
Lípidos totales (g)	3.0
AG saturados (g)	0.43
AG monoinsaturados (g)	0.74
AG poliinsaturados (g)	1.83
w-3 (g)	1.62
C 18:2 Linoléico (w-6) (g)	0.097
Colesterol (mg/ 1000 kcal)	80.0
Hidratos de carbono (g)	0
Fibra (g)	0
Agua (g)	81.3
Calcio (mg)	26
Hierro (mg)	1
Yodo (µg)	3
Magnesio (mg)	28
Zinc (mg)	0.8
Sodio (mg)	58
Potasio (mg)	250
Fósforo (mg)	208
Selenio (µg)	25

Tiamina (mg)	0.08
Riboflavina (mg)	0.1
Equivalentes niacina (mg)	501
Vitaminas B <sub>6</sub> (mg)	0.43
Fosfatos (μg)	9.4
Vitamina B12 (μg)	5.2
Vitamina C (mg)	0.0
Vitamina A: Eq. Retinol (μg)	14
Vitamina D (μg)	Tr
Vitamina E (mg)	1.5

Tr: Trazas. Fuente: Tablas de composición de alimentos. Moreiras *et al.* (2013).

### 2.3.1 Proteínas

El contenido de proteínas, en crudo, se encuentra entre 16 y 21%. La composición real en aminoácidos del músculo rojo y blanco es casi igual a la de las especies terrestres, como el ganado vacuno (Hall y Ahmad, 2001). Sin embargo, las proteínas contenidas en la trucha tienen elevado valor biológico (85%) debido a esa composición en aminoácidos (NRC, 2001) (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Aminoácidos esenciales (porcentaje) en carne de pescado**

Aminoácido	Pescado
Lisina	7.65
Triptófano	1.05
Histidina	2.85
Fenilalanina	3.99
Leucina	7.22
Isoleucina	4.09
Treonina	4.20

Metionina-cisteína	2.81
Valina	4.82
Arginina	5.82
Cisteína	0.91

Fuente: NRC (2001).

Las proteínas se pueden dividir en tres grupos:

1. Proteínas sarcoplasmáticas (mioalbúmina, globulina y enzimas), que son solubles en soluciones salinas neutras de baja fuerza iónica (0,15 M). Esta fracción constituye el 25-30% del total de proteínas.
2. Proteínas del tejido conectivo (colágeno), que constituyen aproximadamente el 3% del total de las proteínas (comparado con el 17% en mamíferos).
3. Proteínas estructurales o miofibrilares (actina, miosina, tropomiosina y actomiosina), que constituyen el 70-80 por ciento del contenido total de proteínas (comparado con el 40% en mamíferos). Estas proteínas son solubles en soluciones salinas neutras de alta fuerza iónica (0,5 M) (Torre, 2013).

Las enzimas sarcoplásmicas incluyen a las implicadas en actividades fisiológicas (respiración, digestión intracelular, división celular, entre otros) como las oxidoreductasas, transferasas, hidrolasas, liasas (Sayas *et al.*, 2009).

Las propiedades químicas y físicas de las proteínas de colágeno difieren según el tipo de tejido, la piel, la vejiga natatoria o los mioseptos del músculo. En general las fibras de colágeno forman una estructura de red de complejidad variable según los diferentes tipos de tejido conectivo. El colágeno es más termolábil y está presente en menor cantidad que en los mamíferos, en donde tienen más entrecruzamientos y mayor labilidad (FAO, 1998; Goobhand, 2002).

Las proteínas miofibrilares son aquellas que componen el aparato contráctil o miofibrilla de la célula muscular. En la tabla 3 se resume la localización y función de las proteínas miofibrilares del músculo esquelético. La actina y la miosina son las proteínas miofibrilares que actúan directamente en el ciclo de contracción y relajación, ambas representan de 65 a 75% de la proteína total. Otras proteínas que participan indirectamente en este ciclo son las reguladoras y las llamadas proteínas de andamiaje o de filamento, que juegan un papel estructural en la miofibrilla y la célula muscular (Hard, 1999).

En general, en el tejido de la carne de trucha, el sarcolema es menos importante que en la carne de animales terrestres, y tiene menos proporción de tejido conectivo, lo que contribuye a que el pescado se digiera fácil y rápidamente, pero con el inconveniente de una menor resistencia a la alteración por las propias enzimas y las bacterias (Sayas *et al.*, 2009).

**Tabla 3. Proteínas miofibrilares del músculo esquelético**

<b>Tipo</b>	<b>Proteína</b>	<b>Localización</b>
Contráctil	Miosina	Banda A
	$\alpha$ -actina	Banda I
Regulador	Tropomiosina	Banda I
	Troponina C, troponina I, troponina T	Banda I
	Proteína M	Filamento M
	Creatinina quinasa	Puente M
	B-proteína	Línea M
	Proteína C	Filamento de miosina
	Proteína F, proteína I, proteína II	Banda A
	Proteína X	Banda A
	Paratropomiosina	Banda A
	$\alpha$ -Actina	Línea Z
	$\beta$ -Actina	Filamento I
	$\gamma$ -Actina	Banda I
	Euactinina	Línea Z
	pProteína Z	Línea Z
Nin Z	Línea Z	
Filamento	Conectina	Unión A I
	Nebulina	Línea N
	Titina	Unión A I, etcétera
	Filamina	Línea Z y Banda I
	Desmina	Línea Z
	Sinemina	Línea Z
	Vimentina	Línea Z

Fuente: Hard (1999).

### 2.3.2 Lípidos

El contenido de grasa oscila entre 3 y 5%, lo cual depende de la época del año, las zonas anatómicas y la temperatura del agua. Su localización es principalmente subcutánea (la cual se encuentra en dispersión globular) y en toda la estructura muscular (músculo blanco y rojo). La concentración de células grasas parece ser más elevada cerca de los mioseptos y en las regiones entre los músculos blancos y oscuros o rojos. El músculo oscuro contiene algunos triglicéridos en las células musculares, dado que es capaz de metabolizar directamente lípidos para la obtención de energía (FAO, 1998).

Los lípidos se caracterizan por estar compuestos por ácidos grasos de cadena larga de C14 a C24, con un alto grado de insaturación. Alrededor de 20 a 35% son saturados, entre 15 y 40% son monoinsaturados y 38 a 51% son ácidos grasos poliinsaturados (Venugopal y Shahidi, 1996). Sin embargo, la composición de lípidos puede variar ligeramente con la alimentación del animal y la estación del año (Sayas *et al.*, 2009).

Los ácidos grasos están dominados por dos ácidos de la familia de n-3: ácido eicosapentanoico (20:5), conocido como EPA y el ácido dodecahexanoico (22:6), conocido como DHA. Estos ácidos son apreciados por los actuales consumidores ya que hay evidencias de su ayuda para el sistema cardiovascular. En cambio, la proporción de linoleico y linolénico (ácidos grasos esenciales) es baja, constituyen alrededor de 2% del total de lípidos (Ackman, 1999).

Con respecto a los lípidos insaponificables, el pescado es rico en colesterol, el cual se encuentra en cantidades de 20 a 80 mg por 100 g de músculo comestible, la carne de pescado, en general es pobre en tocoferoles. Otros esteroides presentes son el brasicasterol, el estigmasterol y el beta-sitosterol. Por su elevado índice de

yodo y su escaso contenido de tocoferoles, la fracción grasa es muy susceptible al enranciamiento. A esto hay que añadir el contenido de lipasas, fosfolipasas y lipoxidasas del propio tejido muscular, muy activas incluso en refrigeración, que facilitan que la carne congelada se enrancie fácilmente (Sayas *et al.*, 2009).

### **2.3.3 Carbohidratos**

Los carbohidratos se encuentran en pequeñas cantidades en el pescado, con una media no superior al 1%. El carbohidrato más importante en el pescado es el glucógeno, encontrándose en cantidades aproximadas de 0.6% como máximo, sin embargo, en los salmónidos, específicamente en la trucha no hay presencia de ellos gracias a dos principales factores; el primero es el tipo de digestibilidad que ejerce sobre los carbohidratos. El conjunto de enzimas glicolíticas, es poco activado, actuando sólo, y parcialmente, sobre los enlaces  $\alpha$  de los azúcares simples, del glicógeno y del almidón. Esta digestibilidad está correlacionada negativamente con el tamaño de molécula del carbohidrato, de manera que cuando aumenta el tamaño de ésta, su digestibilidad disminuye (Guillaume, 1991).

El segundo factor para evitar la presencia de carbohidratos se debe a una limitación fisiológica; relacionada con un comportamiento endócrino similar al de los humanos diabéticos, en donde se presenta una escasa síntesis de insulina, por lo que al utilizar azúcares de alta digestibilidad, los niveles de glicemia son muy altos, ocasionándose además una excesiva infiltración de glicógeno en el hígado (Halver, 1988).

## **2.3.4 Vitaminas y minerales**

### **2.3.4.1 Vitaminas**

Dentro de la importancia que corresponde como alimento, especialmente para efectos de nutrición, se presenta su contenido en vitaminas esenciales para la vida (Piggot y Tucker, 1990). Las vitaminas liposolubles A y D se alojan principalmente en el hígado; la vitamina E se presenta en mayor proporción que en animales terrestres (Sayas *et al.*, 2009).

Las vitaminas hidrosolubles como tiamina (B1), riboflavina (B2), piridoxina (B6) y cianocobalamina (B12) se localizan principalmente en músculo, vísceras, gónadas e hígado. La presencia de vitamina C es muy escasa o nula. En porción comestible de la trucha se reporta: tiamina 0.08 mg/100 g, riboflavina 0.1 mg/100 g, niacina 501 mg/100 g (Moreiras *et al.*, 2013), generalmente sin presencia de vitamina C.

Los niveles de vitamina pueden ser afectados significativamente por el procesamiento, almacenamiento, preparación y cocinado de éste (Piggot y Tucker, 1990). Todos los tratamientos en los que intervienen grandes cantidades de agua, como pre cocción, lavado e incluso cocción con agua, originan pérdidas por disolución y difusión, sobre todo son afectadas las vitaminas hidrosolubles, también pueden ser destruidas por oxidación, donde las fuertes temperaturas y presencia de oxígeno contribuyen en gran manera, afectando principalmente las vitaminas A y E (Cheftel y Cheftel, 1976).

### **2.3.4.2 Minerales**

El contenido mineral está integrado por macro y microelementos. Los macroelementos principales son P, K, Cl, Na, Mg y Ca. Como parte de los

microelementos se encuentran Fe, Cu, Cr, Mn, Zn, Al, B, I, Co, F, Sn y Ni. Todo tipo de mineral se encuentra en combinaciones orgánicas o en estado inorgánico, disueltas en el medio celular o en combinación con proteínas y otras sustancias complejas (Durazno, 2006). La carne de pescado se considera una fuente importante de calcio y fósforo, así como de hierro y cobre (Sayas *et al.*, 2009).

### **2.3.5 Agua**

El contenido de agua en los alimentos determina el potencial de deterioro microbiano. La cuantificación de agua disponible en los alimentos es expresada como  $A_w$ , la cual ha tomado gran importancia en la industria alimentaria. El agua en la trucha se encuentra estructuralmente como en los músculos de la carne de los mamíferos, con una media de 77.2% (Piggot y Tucker, 1990). El alto contenido de ella favorece el crecimiento de microorganismos y esto a su vez vuelve el producto altamente perecedero (Li y Torres, 1993).

### III. Rendimiento en canal

#### 3.1 Rendimiento de la canal de trucha

La calidad de un alimento es un concepto que el consumidor actual busca cuando adquiere cualquier tipo de producto alimenticio, y por lo tanto, el productor trutícola debe cubrir tan la cantidad como la calidad exigida por ellos. Esto mediante el establecimiento de técnicas que les permitan alcanzar el balance adecuado entre las características de calidad de la canal y de la carne (García *et al.*, 2006).

La eficiencia de la productividad definida por la razón costo/beneficio deberá ser lo más amplia posible, y al igual que en otras especies criadas en forma intensiva. Generalmente la trucha se comercializa al llegar a 250 g como mínimo, siendo el rango satisfactorio de 250 a 300 g ya que tienen tejido magro, además de un excelente rendimiento en filete; este peso es obtenido regularmente en un periodo de 7 a 12 meses dependiendo de la temperatura, calidad de la dieta y etapa reproductiva (Sánchez, 2013).

La trucha se comercializa de diferentes tipos según el tipo de mercado al que va dirigido, va desde fresca entera eviscerada, congelada entera eviscerada, en filetes, entera o ahumada, enlatada o en filete congelado (Vergara, 2003).

El rendimiento en canal de la trucha arcoíris es aproximadamente de un 85 a 90%. En la tabla 4 se encuentran los resultados de los estudios realizados por García y col (2006) en truchas arcoíris de distintos países en donde expresan la obtención de intervalos de peso respecto a peso eviscerado, rendimiento en canal, peso de los filetes y rendimiento en filetes, tomando en cuenta un peso estimado entre 276 a 325 g, el cuál es considerado óptimo para la comercialización; demostrando que la variedad mexicana tiene mejores resultados (García *et al.*, 2006).

**Tabla 4. Calidad de la canal de tres variedades de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*)**

<b>Variable</b>	<b>Variable de origen</b>	<b>Intervalo de peso (g)</b> 276-325 g de peso a la captura
Peso eviscerado (g)	Mexicana	268.69
	Danesa	258.77
	Americana	254.39
Rendimiento en canal (%)	Mexicana	88.35
	Danesa	86.71
	Americana	85.16
Peso de los filetes (g)	Mexicana	165.39
	Danesa	155.17
	Americana	154.21
Rendimiento en filetes (%)	Mexicana	54.36
	Danesa	52.04
	Americana	51.60

Fuente: García *et al.* (2006).

En cuanto a la merma, se ha demostrado que entre más pequeño es el animal, aumenta la misma (3.2%), esto probablemente a mayores dificultades de manipulación; se señala que la pérdida de tejido es aproximadamente de 2.86 promedio entre truchas livianas, medianas y pesadas (García *et al.*, 2004).

## **IV. Conversión de músculo a carne**

### **4.1 Conversión de músculo a carne**

La conversión de los músculos en carne tiene lugar después de que el animal ha sido sacrificado. El músculo es un tejido vivo cuya actividad contráctil característica es regulada normalmente de una forma determinada por el sistema nervioso. Cuando el músculo se ha convertido totalmente en carne ya no es capaz de contraerse mediante deslizamiento de los filamentos. Sin embargo, la conversión comercial del músculo en carne no es un suceso instantáneo. Después de ser sangrado un animal, las fibras musculares sobreviven durante algún tiempo mediante glicólisis anaerobia, aunque depende del agotamiento de la energía. Puede agotarse, su depósito primario de carbohidratos, el glucógeno, o bien el producto final de la glucólisis anaerobia, el lactato. Es entonces cuando las fibras musculares comienzan a perder su integridad al no disponer de energía (Swatland, 1991).

Los hechos que se producen para la conversión óptima de los músculos en carne son complejos. El pH debe descender como consecuencia de la formación de lactato por glucólisis anaerobia. La formación incorrecta de lactato puede traducirse en la obtención de carnes oscuras, firmes y secas (DFD), que son carnes con un pH de más de 6,0 unidades (Fischer y Hamm, 1980). Por otro lado, un exceso de lactato, formado con demasiada rapidez mientras los músculos se encuentran aún calientes, genera un descenso rápido del pH, y puede originar carnes pálidas, blandas y exudativas (PSE) (Bendall, 1961).

#### **4.2 Rigor mortis**

Tras el sacrificio, debido al fenómeno conocido como *rigor mortis* los músculos aparecen consistentes como resultado de la formación de enlaces cruzados entre sus filamentos gruesos y delgados. Sin embargo, la formación de un exceso de enlaces cruzados puede provocar dureza en la carne. El largo periodo que transcurre durante la conversión de los músculos en carne es llamado acondicionamiento o maduración, y durante el mismo se liberan las propias enzimas de la carne. Así, por ejemplo, las proteinasas comienzan la digestión de las proteínas de la carne, fragmentándolas, lo que se traduce en un ablandamiento lento (Swatland, 1991).

El *rigor mortis* constituye la fase inicial en la transformación del músculo en carne. Consiste simplemente en la unión irreversible de miosina y actina para formar actomiosina. Esta unión puede ir acompañada o no de contracción muscular, pero se manifiesta en la rigidez cadavérica que le caracteriza. La consecuencia más inmediata del sangrado es el fallo en el aporte de oxígeno transportado por la sangre a los músculos y por tanto la caída del potencial de oxidación-reducción. En consecuencia, el sistema enzimático citocromo no puede funcionar y la síntesis de ATP por esta vía es imposible. Por acción de la ATPasa de la miosina disminuye el nivel de ATP, liberando simultáneamente fosfato inorgánico que estimula la conversión del glucógeno en ácido láctico. La síntesis de ATP por glicólisis anaerobia no permite mantener el nivel de ATP, y al descender éste hasta casi desaparecer se forma actomiosina y se produce la inextensibilidad característica del *rigor mortis* (Hönikel *et al.*, 1983).

La baja disponibilidad de ATP también incrementa la dificultad para mantener la integridad estructural de las proteínas, al mismo tiempo que el bajo pH, causado por la acumulación de ácido láctico, favorece su desnaturalización. La desnaturalización

frecuentemente está acompañada por la pérdida de la capacidad para retener agua y la caída del pH, que se aproxima al punto isoeléctrico de las proteínas miofibrilares. Ambos fenómenos causan exudación. Este conjunto de complejas transformaciones constituye en una primera etapa del *rigor mortis* (Bendall, 1973).

El inicio del acortamiento y la pérdida de extensibilidad se producen simultáneamente y a un pH muy elevado, coincidiendo también con el momento en que la concentración de ATP empieza a descender como consecuencia del agotamiento de las reservas CP (creatín-fosfato). Tanto el final del acortamiento como el de la pérdida de extensibilidad se producen en los músculos cuando la concentración del ATP es prácticamente cero. Este es el momento en que se considera finalizado el proceso de instauración del *rigor mortis*. Existe una clara influencia de la temperatura a la que tiene lugar el proceso en su duración, evolución del pH y concentración de ATP (Hönikel *et al.*, 1983), así como en el acortamiento de las fibras que se produce (Hönikel *et al.*, 1986).

Se denomina maduración al proceso que se produce a partir del *rigor mortis*, durante el período de tiempo en el que se mantiene la carne a temperaturas de refrigeración hasta su consumo (Hönikel *et al.*, 1986).

La resolución del *rigor mortis* se produce durante la maduración, y ello no porque se separen actina y miosina sino por la fragmentación de las miofibrillas por acción de las enzimas propias de la maduración. Conforme discurre el proceso de maduración, el músculo se hace cada vez más blando (Bendall, 1961).

A lo largo de la maduración se producen diversos cambios que incluyen posibles modificaciones en los componentes extracelulares e intracelulares. Todos estos cambios son tanto enzimáticos como dependientes del pH. Durante la maduración el pH y la capacidad de retención de agua (CRA) que tenía el músculo al final del

*rigor mortis* apenas se modifica. 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*. El músculo oscuro puede encogerse hasta un 52 por ciento y el músculo blanco hasta un 15 por ciento de su longitud original (Buttkus, 1963). 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 torna firme, succulenta y elástica (FAO, 1998).

## V. Factores que afectan la calidad de la carne

Las características principales que determinan la calidad de la carne son las propiedades fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas. Estas características están influenciadas por los siguientes factores: sistema de producción, grupo racial, alimentación, manejo *pre mortem* de los animales y manejo *post mortem* de la carne (Mariezcurrana, 2010).

### 5.1 Ante mortem

El manejo *pre mortem* es importante, desde el punto de vista de la fisiología del estrés, de los factores que la causan (ayuno, transporte, espera, aturdimiento y especie) y el efecto que tiene cada etapa del manejo *pre mortem*, ya que se ve reflejado en la calidad de la carne obtenida (pH, conductividad, color, capacidad de retención de agua, entre otras) (Hernández *et al.*, 2013).

El estrés causado a los animales por un deficiente manejo pre-mortem impacta negativamente en la calidad de la carne. El organismo de un animal estresado produce cambios hormonales muy intensos que afectan la composición del tejido muscular en el animal en vivo y las características de la carne obtenida (Gallo, 2009).

Se deben aplicar técnicas apropiadas de cosecha para minimizar el daño físico y evitar el estrés en los peces (BANCOMEXT, 2006). Por lo que las truchas no deben someterse al calor extremo, a variaciones bruscas de temperatura, exponerse directamente al sol o a superficies que hayan sido calentadas por éste. Es necesario mantener temperaturas bajas durante la cosecha para evitar la proliferación de microorganismos y afectar la calidad del producto (Orellana, 2008).

### 5.1.1 Ambiente

El crecimiento de la actividad trutícola, se ha asociado principalmente a regiones donde las condiciones climáticas y de ecosistemas contribuyen al desarrollo del sector (FAO, 2006-2010).

El agua es el principal factor de producción en la piscicultura intensiva y particularmente en el cultivo de la trucha que demanda grandes volúmenes. El agua aporta el oxígeno, eliminara los desechos del metabolismo y por su composición y variabilidad físico-química condiciona los rendimientos de producción y reproducción. Las condiciones del agua para los salmónidos son cuantitativas (caudal y velocidad del agua) y cualitativas como composición y temperatura, esta última no debe de exceder los 20 °C para la trucha arcoíris, lo que limita los lugares de implantación posibles. (Blanco, 1994).

El caudal de agua disponible en la unidad trutícola va a definir el volumen de la producción total. La calidad de agua que se utiliza en el cultivo de la trucha arcoíris, depende principalmente del conjunto de sus propiedades físicas, químicas, y biológicas, las propiedades físicas pueden estar sometidas a variaciones bruscas ocasionados por factores externos o ambientales fundamentalmente cambios atmosféricos y climáticos, las propiedades químicas son más estables y sus variaciones son mínimas, salvo casos excepcionales de contaminación que producirá efectos letales; las condiciones biológicas están condicionadas a la presencia o ausencia de agentes patógenos. La temperatura va condicionar la maduración las gónadas de los reproductores, el tiempo de incubación de los huevos hasta la eclosión; así como el ritmo de crecimiento de los alevinos y adultos (Parrado, 2012).

Parrado (2012) enlista los siguientes parámetros para la producción de trucha:

- En condiciones naturales, la trucha puede vivir en aguas con temperaturas entre 4 °C y 25 °. Sin embargo, en cultivo, la temperatura adecuada para la engorda de trucha, es de 15 °C a 18 °C. Entre más se aleje la temperatura del agua de este rango, menor ganancia en peso. A medida que la temperatura aumenta el contenido de oxígeno disminuye y hay mayor de probabilidad de formación de amoníaco tóxico para los peces.
- Contenido de oxígeno disuelto debe oscilar entre 5.5 y 9 mg/l, el oxígeno disuelto varía con la cantidad de materia orgánica proveniente de alimento no consumido, a las heces fecales y a la temperatura del agua.
- pH para el cultivo de la trucha debe oscilar de 6.5 y 9. Cuando el agua es ácida los peces presentan branquias con moco y a largo plazo estas se deterioran lo cual no permite el intercambio y la fijación de oxígeno.

### 5.1.2 Ayuno

Mantener a los peces en ayuno es una práctica común en la piscicultura. El ayuno se realiza, antes de un traslado o sacrificio, para lograr evacuar el intestino y reducir la demanda de oxígeno y generación de residuos, lo que finalmente disminuye mortalidades, reduce el efecto de autólisis *post mortem* del pez y otorga mejor calidad del producto (López *et al.*, 2013).

El ayuno puede también incrementar los niveles de estrés de los peces y si estos son lo suficientemente altos afectan a la calidad de la canal (Poli *et al.*, 2005). Recientemente, algunos autores han analizado el efecto del ayuno de corta duración (hasta tres días) sobre los indicadores plasmáticos de estrés en la trucha arcoíris

(Hoseini *et al.*, 2013), incluyendo el efecto de la temperatura del agua mediante los grados día (López *et al.*, 2013) y su efecto sobre la calidad de la canal (López *et al.*, 2014), encontrando todos que la trucha es capaz de adaptarse a un ayuno de ese tipo con valores similares de cortisol, lactato y glucosa en peces ayunados y no ayunados. Por otro lado, hay estudios que han demostrado que hay prácticas de manejo previas al sacrificio como la captura y el hacinamiento que provocan distintos grados de respuesta de estrés en los peces, incrementando los niveles de cortisol (Poli *et al.*, 2005).

El efecto sobre el estrés puede afectar también a los procesos bioquímicos *post mortem*, principalmente la glucólisis anaerobia y el ritmo de degradación del ATP. Esto puede a su vez influenciar el inicio y el desarrollo del rigor mortis y la frescura del producto final (Poli *et al.*, 2005).

Al saber cuánto tiempo es adecuado mantener las truchas en ayuno, se puede adecuar la entrega de alimento, reduciendo el suministro sin afectar su fisiología. Establecer datos reales relacionados con indicadores de estrés nos otorga herramientas para poder entregar un pez que finalmente proporciona una mayor calidad en el producto final. Al existir una baja carga de estrés en el pez cosechado, se evita presencia de gaping en la musculatura y facilita la firmeza en el filete, contribuyendo a generar un producto con mayor valor de mercado (López *et al.*, 2013).

### **5.1.3 Transporte**

El transporte de truchas vivas constituye una práctica común utilizada con distintos fines como: al término de una cosecha, trasladar peces a un lugar de almacenamiento a corto plazo para peces vivos, poblar estanques en la misma o en

distintas granjas, con fines de reproducción o cría; para llevar peces vivos al mercado (Coche *et al.*, 1998).

Es un proceso que se debe realizar de manera cuidadosa, para asegurar la calidad del producto en la fase final del cultivo. Se deben tomar precauciones para evitar las raspaduras o daño en la piel y carne de los peces. También debe reducirse el estrés de las truchas ya que la calidad de la carne puede ser afectada. Es recomendable sacrificar a los peces lo más rápidamente posible para evitar el sufrimiento innecesario (García y Calvario, 2003).

Según Coche y colaboradores (1998), para lograr un buen transporte es necesario tener en cuenta los siguientes puntos:

### **Selección del agua utilizada para el transporte**

1. Que el agua este fría, para limitar la actividad de los peces y las bacterias, reduciendo así el consumo de oxígeno disuelto y la producción de amoníaco y dióxido de carbono. Para truchas que son peces de aguas frías se utiliza agua a una temperatura de 5 °C a 10 °C.
2. El pH se debe encontrar entre 7 y 7.5; los niveles de dióxido de carbono libre tóxico y de amoníaco libre sean relativamente bajos.
3. Que esté limpia de sedimentos o sólidos en suspensión, así como de compuestos químicos dañinos para reducir el estrés en las agallas de los peces, educir el nivel de las bacterias presentes en sólidos orgánicos y limitar el empobrecimiento de oxígeno debido a la descomposición de materia orgánica.

## **Organización óptima del transporte de peces vivos**

Cuando mayor sea la duración del transporte, más cuidadosamente se debe organizar, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Los peces se deben cuidar adecuadamente durante las operaciones de cosecha y clasificación.
- Los peces se mantienen en almacenamiento sin alimentos durante un periodo lo bastante largo para vaciar completamente su conducto digestivo. Para truchas es sugerido hasta 3 días.
- Los peces se someten a tratamiento para eliminar los parásitos externos una vez que su estómago está vacío, se calculan cantidades de peces adecuadas que se han de transportar de la forma más eficiente posible.
- Se deben mantener tranquilos durante el transporte, de ser posible estar a oscuras y a salvo de ruidos repentinos, sin movimientos bruscos de los contenedores.

El método de transporte se selecciona según el tipo de contenedor disponible y el tipo de peces que se van a transportar; en el caso de peces para consumo alimenticio se transportan a los mercados o las plantas de elaboración. Si un aspecto sano y saludable constituye una ventaja comercial, conviene reducir en consecuencia las tasas de carga. En el siguiente cuadro ejemplificamos algunos de los métodos que pueden ser utilizados según las distintas necesidades de transporte (Coche *et al.*, 1998).

**Cuadro 4. Métodos sencillos para el transporte de peces vivos**

Contenedor de transporte	Tipo de pez	Distancia y/o duración del transporte			
		Muy corta	Corta	Media	Larga
Bolsa/hamaca para reproductor	R	•			
Pequeños contenedores	J	•	•	•	--
Hamaca/batea	RJM	•	•	(•)	--
Bidón de metal de 200 L	JM	•	•	(•)	--
Tanque con agitador	RJM	•	•	•	--
Tanque con aireación	RJM	•	•	•	--
Tanque con oxigenación	RJM	--	•	•	•
Bolsa de plástico sellada	J	--	--	•	•

R= reproductor; J= juvenil para su cría posterior; M= pez de mesa.

Fuente: Coche *et al.* (1998).

### 5.1.4 Estimulación eléctrica

Se realiza sumergiendo en el agua dos electrodos que tengan entre sí una sensible diferencia de potencial, se crea así entre ellos un campo eléctrico, distribuido en forma de círculos equipotenciales. La cantidad de corriente necesaria para que se produzcan los efectos deseados variará en cada especie según el tamaño del pez y la constitución de su epidermis. Según la corriente aplicada podemos conseguir:

- Galvanonarcosis: parálisis muscular, si se prolonga produce la muerte.
- Galvanotaxia: movimiento natatorio con atracción directa hacia el ánodo.

El sistema eléctrico se puede hacer con corriente continua, con corriente alterna o con corriente intermitente. El problema del método eléctrico, es que la intensidad de la corriente varía en función de la especie y la longitud del pez, como en las

piscifactorías hay peces de diferentes longitudes es difícil calcular la intensidad adecuada para todos, así habría peces en el que este método tendría efecto y en otros en el que no. Según algunos estudios el método eléctrico evita el sufrimiento respecto la asfixia y da una mejor calidad de la carne (se conserva mejor), pero en cambio hay otros trabajos que afirman que con este método el pez sufre mucho sobre todo en la fase de galvanotaxia (Valls *et al.*, 1998).

## **5.2 Post mortem**

Un buen manejo de las truchas, una vez cosechadas, es muy importante para evitar golpes, pérdida de escamas, deterioro de aletas, entre otros que puedan disminuir la aceptación del consumidor por este producto. Se considera que, en la etapa de sacrificio del pez, el método utilizado es apropiado para el bienestar animal en la medida que el mecanismo de sacrificio logra que el pez alcance rápidamente la pérdida total de consciencia y sensibilidad (Lambooij *et al.*, 2002; Robb y Kestin, 2002).

De acuerdo a lo establecido por la FAO, dentro de los métodos de sacrificio para la trucha están:

- La muerte por asfixia,
- Golpe en la base del cráneo,
- Corriente eléctrica,
- Disminución de la temperatura del agua

El método más usado es la disminución de la temperatura del agua para el sacrificio de las truchas, lo que provoca la insensibilización, para posteriormente llevar a cabo el acondicionamiento (lavado, evisceración, etc.) de las truchas para la venta. Una vez preparadas las truchas, deben darse las condiciones óptimas de

almacenamiento en frío para evitar la rápida descomposición de su carne debido a la actividad de microbios, principalmente (FAO, 2014).

### **5.2.1 Enfriamiento**

Todas las especies de peces, si se enfrían debidamente, se mantienen frescas durante más tiempo que las que no se someten a ningún método de conservación. Por consiguiente, el uso de técnicas de enfriamiento, como el uso de hielo, posibilita un aumento efectivo de la duración. Los productos que lleguen al mercado en buenas condiciones de conservación alcanzarán generalmente precios más altos, tanto en el comercio mayorista como minorista, y generarán, en consecuencia, un mayor rendimiento económico de la actividad pesquera (FAO, 2005).

La finalidad del enfriamiento es prolongar el tiempo de conservación del pescado, reduciendo la actividad de enzimas y bacterias, así como los procesos químicos y físicos que pueden afectar a la calidad. El pescado fresco es un alimento extremadamente perecedero y se deteriora con gran rapidez a las temperaturas normales. La reducción de la temperatura de almacenamiento del pescado disminuye su tasa de deterioro. Durante el enfriamiento, la temperatura se reduce hasta la de fusión del hielo: 0 °C (32 °F) (FAO, 2005).

Aunque existen varias causas que tienen que ver con el rápido crecimiento de los microbios, una de las más importantes es la temperatura. Si se puede controlar, se puede disminuir o hasta detener el crecimiento y la reproducción de los microbios (FAO, 2014).

Con una temperatura menor a 4 °C, el crecimiento de microbios se reduce y con una temperatura de -28 °C, el crecimiento se paraliza. Por esta razón existen diferentes técnicas de congelación para extender los días o vida útil de la carne de

la trucha. El desarrollo de microbios es muy rápido en temperaturas entre los 4 °C y 50 °C (FAO, 2014).

El enfriamiento con hielo es una de las técnicas más utilizadas para asegurar y mantener la calidad del pescado y entre sus ventajas está:

1. No contamina (siempre y cuando se produzca bajo buenas condiciones sanitarias)
2. Es relativamente barato
3. Se puede transportar fácilmente
4. El agua derretida del hielo mantiene el pescado húmedo con apariencia atractiva (FAO, 2014).

Si bien existe una gran respuesta al almacenamiento en frío, específicamente con hielo; hay algunos factores que pueden influir en su deterioro como lo son:

**Temperatura:** Es un hecho conocido que las temperaturas altas aumentan la tasa de deterioro del pescado y que las temperaturas bajas la reducen. Por consiguiente, si el pescado fresco se mantiene a una temperatura baja, su calidad disminuye lentamente. Cuanto más rápidamente se alcance una temperatura baja durante el enfriamiento del pescado, más eficazmente se inhibirán los procesos de deterioro.

**Daños físicos:** El pescado es blando y se daña fácilmente, por lo que la manipulación brusca y el magullamiento ocasionan la contaminación de su carne con bacterias y permiten la liberación de enzimas, lo que aumenta la tasa de deterioro. Además, una manipulación poco cuidadosa puede hacer que revienten las vísceras y que su contenido entre en contacto con la carne del pescado (FAO, 2005).

**Factores intrínsecos:**

**Cuadro 5. Factores intrínsecos que influyen en la tasa de deterioro del pescado enfriado**

Factores intrínsecos	Tasa relativa de deterioro del pescado conservado en hielo	
	Tasa baja	Tasa alta
Forma Tamaño Contenido de grasa de la carne Tipo de piel	Peces planos Peces grandes Especies magras Piel gruesa	Peces redondos Peces pequeños Especies grasas Piel delgada

Fuente: FAO (1998).

**Tiempo de conservación del pescado en hielo**

El enfriamiento del pescado puede ralentizar el proceso de deterioro, pero no lo puede detener. Se trata, por consiguiente, de una carrera contra el tiempo y el pescado deberá ser transportado lo más rápidamente posible, el tiempo de conservación dependerá de varios factores; pero el deterioro de todas las especies de pescado sigue un proceso similar, en cuatro fases (FAO, 1998), según se describe a continuación:

### Cuadro 6. Las cuatro fases del deterioro del pescado

<b>Fase I</b> (Cambios autolíticos, ocasionados principalmente por enzimas)	El pez recién pescado está muy fresco y su sabor es dulce, marino y delicado. El deterioro es escaso, con una ligera disminución del aroma y sabor característicos. En algunas especies tropicales este período puede durar dos o más días tras la captura.
<b>Fase II</b> (Cambios autolíticos, ocasionados principalmente por enzimas)	Se produce una reducción significativa del sabor y olor naturales del pescado. La carne adquiere un sabor neutro, pero no desagradable, y la textura aún es agradable.
<b>Fase III</b> (Cambios bacteriológicos, ocasionados principalmente por bacterias)	El pescado comienza a mostrar signos de deterioro. Hay presencia de sabores desagradables fuertes y olores rancios y desagradables. Se observan cambios significativos de la textura; la carne se vuelve blanda y acuosa, o bien correosa y seca.
<b>Fase IV</b> (Cambios bacteriológicos, ocasionados principalmente por bacterias)	El pescado está estropeado y putrefacto, y es incomedible.

Fuente: FAO (1998).

Se han realizado numerosas investigaciones acerca del tiempo de conservación del pescado conservado en hielo. Atendiendo a estos estudios, se reconoce generalmente que algunas especies de peces tropicales pueden conservarse durante períodos más largos que los peces de aguas templadas o más frías. Esta circunstancia puede atribuirse a diferencias en las tasas de proliferación de bacterias; en los peces tropicales conservados en hielo se produce una fase de proliferación lenta (o período de adaptación a las temperaturas de enfriamiento) de una a dos semanas. No obstante, es difícil comparar los tiempos de conservación de los peces de aguas tropicales y templadas, debido a diferencias en los criterios utilizados para definir el límite del tiempo de conservación y en los métodos empleados (FAO, 2005).

**Tabla 5. Tiempo de conservación en hielo (días)**

<b>Especie</b>	<b>Aguas templadas</b>	<b>Aguas tropicales</b>	<b>Observaciones</b>
Trucha	9-11	16-24	Poco grasa

Fuente: FAO (1998).

El contenido de grasa y el tiempo de conservación están sujetos a variaciones estacionales.

En el caso de empaque, las truchas enteras se deben cubrir con hielo, para mantener una temperatura adecuada (entre 0 y 4 °C). Si vamos a colocar truchas enteras en cajas, entonces deben almacenarse de la siguiente manera: se coloca una capa de hielo de 5 cm de grueso en la parte inferior de la caja, seguida de una capa de truchas enteras, se agrega otra capa de hielo, que se entremezcle con el pescado y lo cubra con 5 cm de espesor, y así sucesivamente, alternado hielo y pescado. La altura de almacenamiento no debe pasar de 45 cm (FAO, 2014).

En el caso de los filetes de trucha, no deben estar en contacto directo con el hielo, para evitar la pérdida de algunos nutrientes y del sabor. El contacto directo del hielo con los filetes produce la alteración del aspecto y apariencia de quemado del filete, lo cual provoca una pérdida de color del mismo. Por las razones anteriores es conveniente que los filetes sean envueltos en plásticos, para evitar el contacto directo con el hielo (FAO, 2014).

La relación adecuada de hielo: pescado es 1:1; es decir, para enfriar 1.0 kg de pescado se requiere de 1.0 kg de hielo (FAO, 2014).

Aunque el hielo puede conservar el pescado durante cierto tiempo, se trata en cualquier caso de un medio de conservación a plazo relativamente corto en

comparación con la congelación, el enlatado, la salazón o el secado, por ejemplo (FAO, 2005).

### 5.2.2 Maduración

En los productos de la pesca podemos determinar tres estadios *post mortem*:

- Estado de Irritabilidad o *pre rigor*
- Estadio de *rigor mortis* o rigidez cadavérica
- Estadio en el que comienza el proceso alterativo o de *post rigor*

Si tomamos en cuenta lo anteriormente expuesto, veremos que el músculo del trucha atraviesa solamente por los estadios de Irritabilidad, *Rigor mortis* y Alteración (una vez finalizado el *rigor mortis* comienzan a instalarse los procesos que llevan a la putrefacción del producto). A diferencia de las carnes rojas, el pescado, no pasa por el estado de maduración.

PESCADO = IRA (Irritabilidad, *Rigor mortis*, Alteración).

Carnes rojas = IRMA (Irritabilidad, *Rigor mortis*, Maduración, Alteración) (García *et al.*, 2015).

### 5.2.3 Congelación

La congelación consiste en la aplicación de temperaturas a los alimentos por debajo de cero grados centígrados, de forma que parte del agua del alimento se convierte en hielo. Al mismo tiempo, como el agua se solidifica, se produce una desecación del alimento, lo que contribuirá de forma significativa a una mejor conservación. Este efecto será más importante cuanto más baja sea la temperatura (Umaña, 2012).

Asimismo, según Umaña (2012), en la congelación la temperatura de elección a nivel internacional es de  $-18\text{ [}^{\circ}\text{C] / }0\text{ [}^{\circ}\text{F]}$ , dado que por debajo de ésta se estima que no es posible la proliferación de bacterias de forma significativa y se disminuye la posibilidad de alteración en los productos, reduciendo los riesgos para la salud. Se destaca que luego de la refrigeración, la congelación es el tratamiento que menos modificaciones produce. También, se advierte que en la congelación el agua es removida de su posición normal desde los tejidos, para posteriormente ser convertida en hielo. Este proceso es parcialmente revertido durante la descongelación, dando lugar a la formación de humedad.

El principio de la conservación de los alimentos por el sistema de congelación, se basa en el mismo principio que el de la refrigeración, pero la ventaja que presenta es que en cuanto más baja es la temperatura más se aleja de las condiciones ideales en las que pueden multiplicarse los microorganismos, por lo que el alimento se altera cada vez menos. Ya sea por refrigeración o congelamiento, el aplicar métodos de conservación por frío protege la calidad de los alimentos a un coste muy competitivo (Umaña, 2012).

Tanto la refrigeración como la congelación, pueden generar productos estables para el consumidor y la elección del método de conservación, depende de muchos factores. En Tabla 6 están presentes las ventajas e inconvenientes de ambos métodos, determinando cuál de las dos opciones es más idónea para las suplir las necesidades de las actividades pesqueras (Shawyer y Medina, 2005).

Caballero (2008), considera la importancia de que, al momento de congelar alimentos, estos deben conservar el aspecto, valor nutritivo y su contenido vitamínico. La temperatura necesita ser uniforme a lo largo de todo el proceso, lo cual dependerá de la tolerancia de cada producto. Además, se acepta la influencia de la velocidad de enfriamiento, lo cual puede tener efectos en la calidad de la

congelación, comparado con Umaña (2012), este expone al método congelación, como aquel donde la temperatura baja a tal nivel, que ya no es posible encontrar una difusión de bacterias de forma significativa, disminuyendo la posibilidad de alteración en los productos, lo que reduciría los riesgos para la salud.

**Tabla 6. Ventajas e inconvenientes de la refrigeración y la congelación de pescados**

<b>Parámetros de evaluación</b>	<b>Refrigeración</b>	<b>Congelación</b>
Periodo de almacenamiento	Corto plazo (máximo un mes o días dependiendo de la especie)	Largo plazo (un año o más dependiendo de la especie)
Temperatura de almacenamiento	0 (°C)	Inferior a cero; ejemplo -30 (°C)
Costo de almacenamiento	Relativamente barato	Relativamente cara
Apariencia del pescado	Es un pescado fresco	Si se realiza en forma incorrecta, afecta la calidad de la especie
Uso de tecnología	Relativamente sencilla	Relativamente compleja
Conocimientos de conservación	No avanzados	Avanzados
Usos en la industria	Para enfriamientos portátiles	Operaciones generalmente fijas

Fuente: Shawyer y Medina (2005).

Se entiende que Caballero (2008) define que las tecnologías disponibles para la conservación de alimentos por frío, confirman que las bajas temperaturas como la refrigeración son para comercialización a corto y mediano plazo, mientras que según Umaña indica que la congelación es para comercialización a largo plazo.

Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina (2011), las siguientes consideraciones son importantes; las truchas frescas utilizadas para obtener el producto final congelado deben tener las siguientes características físicas (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina, 2011).

- Cuerpo flácido (*pre rigor*) o rígido (*rigor mortis*) pero sin perder su forma original por golpes, mal acomodado o aplastamiento.
- Las escamas deben estar bien unidas entre sí y fuertemente adheridas a la piel, conservar su luminosidad y brillo metálico.
- La piel debe estar húmeda, tensa, bien adherida a los tejidos subyacentes y no presentar arrugas ni laceraciones. Deben conservar los colores y reflejos propios de la especie.
- Los ojos deben ocupar toda la cavidad orbitaria, ser transparentes, brillantes y salientes.
- Los vasos sanguíneos deben presentarse llenos y firmes y no deben romperse a la presión digital.
- Las branquias deben presentar coloración rosada a rojo intenso, estar húmedas y brillantes.
- Los músculos deben estar firmemente adheridos a los huesos y no desprenderse de ellos al ejercer presión con los dedos (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina, 2011).

Una vez congeladas, las truchas deberán mantener el color característico del pescado fresco o del corte específico. El congelado debe ser uniforme y abarcar la totalidad de la pieza. La materia prima utilizada y el producto terminado deben estar exentos de microorganismos, parásitos, toxinas y demás sustancias tóxicas producidas por microorganismos en concentraciones que puedan representar un riesgo para la salud (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina, 2011).

La materia prima a congelar debe cumplir con las siguientes características:

- Color brillante y mucílago incoloro.
- Exenta de daño.
- Estar completamente sin restos de vísceras y limpio. La pared del vientre (peritoneo) debe ser brillante, limpia, y adherida a la cavidad abdominal.
- Presentar piel uniforme, carne firme y elástica.
- Presentar agallas de color rojo o rosa brillante, mucosa clara. El olor de las mismas debe ser característico de la trucha fresca.
- Estar exento de olores extraños.
- No deben presentar ninguna de las alteraciones causadas por la difusión de sangre en la carne o coloraciones que denoten contaminación o alteración (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina, 2011).

Una vez congelado, debe cumplir con las siguientes características sensoriales:

- Superficie: máximo 2% de quemadura por frío.
- Color: característico de la especie, sin presentar decoloraciones.
- Al descongelar, debe mantener las características del pescado fresco (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina, 2011).

### **5.3 Parámetros que definen la calidad de la carne**

La calidad organoléptica o sensorial, está dada por unos parámetros enormemente variables, fácilmente modificables, objetivos y mensurables, intrínsecos a la propia naturaleza de la carne, y determinantes en el momento clave de todo proceso productivo-tecnológico. Las características organolépticas que van a influir en la palatabilidad de la carne son, fundamentalmente, la textura, la jugosidad, el aroma,

el sabor y el color. Por su parte, estos atributos se hallan influidos, como ya se ha mencionado, por la especie, la raza, la edad, el sexo, la dieta y el manejo *post mortem*, entre otros (Mariezcurrana, 2010).

### 5.3.1 Color

La apariencia física de la carne es la principal característica en que se basa el consumidor al hacer su elección inicial (Clydesdale, 1991).

La carne de la trucha normalmente es blanca, aunque dependiendo de la temporada y de su alimentación puede presentar una tonalidad asalmonada que recibe este nombre por la coloración rosa, muy característico del salmón. En la naturaleza, la coloración característica del filete y de la piel de algunos peces se confiere a través de la absorción y deposición de pigmentos (carotenoides) presentes en el alimento natural. Bajo condiciones de cultivo intensivo, la disponibilidad de alimento natural puede ser insuficiente, siendo necesario la adición de pigmentos naturales o sintéticos en las raciones para garantizar una pigmentación normal en los filetes y en la piel de los peces. La astaxantina es el carotenoide predominante en los salmónidos, confiriendo una coloración rosada-bermeja al filete. Otro carotenoide adecuado para conferir pigmentación rosada en el filete de truchas y salmones es la cantaxantina. En el mercado se encuentran disponibles formas sintéticas de estos pigmentos para su inclusión en las raciones para peces. Las raciones con 50 a 100 mg de astaxantina o cantaxantina por kilo proveen adecuada pigmentación en el filete de trucha arcoíris (trucha "salmonada") y al de los salmones (Kubitza, 1999).

El sistema de representación del color más adecuado es el CIELAB (CIE, 1986), ya que se presenta más uniforme en la zona de los rojos. Este sistema emplea las coordenadas tricromáticas L\* (luminosidad), a\* (índice rojo) y b\* (índice de amarillo), de manera que a partir de relaciones entre ellas se pueden obtener las coordenadas

colorimétricas, la intensidad de color o saturación y el tono. La coordenada L\* es la más relacionada con la valoración visual del consumidor (Murray, 1989).

Depende de varios factores como el pH, la capacidad de retención de agua, la humedad, la integridad de la estructura muscular y, en menor medida, del grado de oxidación de los hemopigmentos (Sayas, 1997). También influye el contenido en grasa, pues las materias primas con mayor contenido en grasa son las que presentan mayores valores de L\* (Pérez-Álvarez *et al.*, 1998). La coordenada a\* (eje rojo-verde) está relacionada con el contenido de mioglobina (Pérez-Álvarez *et al.*, 1998). La coordenada b\* (eje amarillo-azul) ha sido relacionada con los distintos estados de la mioglobina (Pérez-Álvarez, 1996). En un trabajo posterior (Pérez-Álvarez *et al.*, 1998) se concluyó que la concentración de mioglobina no es un factor determinante sobre esta coordenada, si lo fuera, cabría esperar un comportamiento similar al obtenido para la coordenada a\*. Sin embargo, observaron que las carnes grasas presentan valores de b\* similares a los obtenidos para las carnes magras. Este comportamiento podría deberse a una mayor contribución por parte de la grasa al índice de amarillo.

Según Kang *et al.* (1998), el valor de a\* puede ser útil para predecir la concentración de mioglobina y el color de la carne.

Hong y Storebakken (1991), mencionan que en el color de la carne de trucha arcoíris existe una variación considerable, la cual presenta diferentes intensidades de tendencia al rojo, estas diferencias pueden deberse a la disparidad de concentración de carotenos a lo largo del cuerpo y del músculo, por ello los valores que reportan en cuanto a la mezcla homogénea (todo el filete) son L\* (43.8), a\* (6.1) y b\* (20.6), así mismo datos reportados por Prieto (1998) en trucha arcoíris con peso de 250 g, valores de L\* (42.81), a\* (4.15) y b\* (7.73); Chacón (2000), reporta en categoría de pesos de 205.32 a 299.56 g, valores de L\* (48.41), a\* (0.48) y b\* (13.58).

Las preferencias en cuanto al color de la carne varían, prefiriéndose la carne blanca en América y rosada en Europa. En el caso de España, la “trucha asalmonada” representa un 55% de la comercializada y la “trucha blanca” un 45% (Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino, 2010).

El color blanco del pescado no significa en ningún caso falta de cualidades nutritivas o ausencia de sabores y aromas. De hecho, la trucha de ración se considera, a efectos dietéticos, como pescado blanco, con todas las ventajas nutritivas que ello representa (Mas, 1988).

### **5.3.2 Textura**

La textura de los alimentos es un conjunto de sensaciones distintas. Por lo que, diversos autores han propuesto algunas definiciones las que se podría escoger como la más adecuada: “textura es la propiedad sensorial de los alimentos que es detectada por los sentidos del tacto, la vista, el oído, y que se manifiesta cuando el alimento sufre una deformación” (Anzaldúa-Morales, 1994).

La dureza se relaciona con las características y estructura de dos componentes de la carne: el colágeno y las miofibrillas. Las características de ambos, así como el contenido en humedad y en grasa, y la cantidad y naturaleza de las enzimas presentes en el músculo (ablandadores naturales), están determinadas por factores productivos y, por tanto, éstos serían los responsables de la ternura potencial de la carne (Chavez, 2009).

Algunos estudios demuestran que, con cierta frecuencia, la carne de pescado ablanda después de 24 horas de almacenamiento en frío (Oka *et al.*, 1990; Mochizuki y Sato, 1996).

Diversos autores hacen referencia a la pérdida de textura ocasionada por la acción de proteasas sobre proteínas miofibrilares, en especial catepsinas, calpaínas y enzimas hidrolíticas como elastasas y colagenasas (Delbarre-Ladrat, 2006). Aunque ha sido reconocido que el efecto de las proteasas es posterior e independiente a la pérdida inicial de textura en algunos peces sometidos a refrigeración (Ladrat *et al.*, 2003; Shigemura *et al.*, 2003).

El colágeno es el mayor constituyente del tejido conectivo intramuscular de los peces ejerciendo una importante función en la textura de su carne (Sato *et al.*, 1986; Hatae *et al.*, 1986). Por otro lado, diferentes trabajos ultraestructurales han demostrado que el tejido conectivo pericelular es degradado más intensamente durante el almacenamiento en frío que el tejido conectivo intersticial (Ando *et al.*, 1995; Kubota *et al.*, 1996). Además, estos estudios relacionan el ablandamiento de la carne con la presencia de algunos tipos de colágeno existentes en los peces, especialmente el colágeno tipo V, en cuanto otros relacionan este hecho con la presencia de colágenos que difieren genética y químicamente entre individuos de la misma especie (Bornstein y Sage, 1980). La firmeza del músculo es también un índice de frescura de la carne, de forma que el ablandamiento resulta en una disminución de la calidad.

El cambio más dramático en la textura es el ataque del *rigor mortis*. Inmediatamente después de la muerte el músculo del pescado está totalmente relajado, la textura flexible y elástica generalmente persiste durante algunas horas y posteriormente el músculo se contrae. Cuando se torna duro y rígido, todo el cuerpo se vuelve inflexible y se dice que el pescado está en *rigor mortis*. Esta condición generalmente se mantiene durante uno o más días y luego se resuelve el *rigor*. La resolución del *rigor mortis* hace que el músculo se relaje nuevamente y recupere la flexibilidad, pero no la elasticidad previa al *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 (FAO, 1998).

El consumidor confiere una mayor importancia a la dureza como principal atributo de la textura, siendo uno de los criterios determinantes de la calidad de la carne (Lawrie, 1998; Ouali, 1991). Chambers y Bowers (1993) afirman que la dureza decide el valor comercial de la carne, y Boleman *et al.* (1997) confirman que el consumidor paga por una carne menos dura. En este sentido también coinciden Dransfield *et al.* (1984) y Seideman *et al.* (1989), que afirman que el elemento prioritario considerado por los consumidores al valorar la calidad de la carne es la dureza (su ausencia, claro está). Otros autores señalan que tanto la dureza como el color de la carne son los parámetros principales que determinan las preferencias del consumidor. Mientras que otros autores opinan que la dureza y el sabor son considerados por los consumidores como los elementos más importantes de la calidad sensorial, mientras que el color es el principal atributo valorado en el punto de compra (Glitsch, 1997).

### **5.3.3 Jugosidad**

La jugosidad de la carne cocinada se puede separar en dos percepciones: la primera es la impresión de humedad durante los primeros mordiscos, producida por la liberación rápida de fluidos. La segunda es debida a la liberación lenta de suero y al potencial efecto estimulador de la grasa en la producción de saliva (Sañudo, 1992). Como esta última percepción perdura mucho más en el tiempo que la liberación inicial de fluidos, es comprensible que la mayoría de los estudios que tratan los parámetros que afectan a la jugosidad de la carne muestren la existencia de una estrecha correlación entre la jugosidad y el contenido de grasa, y no con la cantidad de fluidos surgidos por presión de la carne (Cross, 1994).

La jugosidad está muy relacionada con la capacidad de retención de agua. Este parámetro es de una gran importancia económica y sensorial, ya que una carne con una menor CRA implica mayores pérdidas, que pasan de un valor normal de un 2%, a un valor entre un 5 y un 7%, y también mayores pérdidas durante la conservación. También se producirán pérdidas al despiezar y filetear la carne, impidiendo su venta preembalada. En el cocinado habrá una rápida salida de jugo, agravada por una pre contracción del colágeno y una desnaturalización proteica, llegando las pérdidas al 50% (Hamm, 1986).

El músculo con alta CRA es jugoso y calificado con alto puntaje organoléptico, mientras que aquel con baja CRA pierde la mayor parte de su agua en el primer mordisco y luego parece estar seco (FAO, 1998).

La jugosidad de la carne cocinada de las diferentes especies y de las diferentes localizaciones anatómicas varía enormemente (Lawrie, 1981). Si, como se sugería antes, la sensación de jugosidad de la carne cocinada se relaciona más con el contenido de grasa, entonces la mayoría de los parámetros que condicionan el contenido graso intramuscular se verán reflejados en esta percepción de jugosidad (Gonzalez, 2012).

#### **5.3.4 Sabor**

El sabor de un alimento corresponde al conjunto de impresiones olfativas y gustativas provocadas en el momento del consumo. Este término engloba el olor del alimento, ligado a la existencia de compuestos volátiles, y el sabor, que tiene su origen en algunas sustancias solubles. Estos compuestos químicos están presentes en concentraciones muy pequeñas, que no afectan al valor nutritivo, pero sí a la aceptabilidad. El sabor se percibe en el momento del consumo, desarrollándose ya antes de la introducción del alimento en la boca, durante la masticación, y durante

y después de la deglución (Patterson, 1975). Éste mismo depende de la carnosina, de los nucleótidos, de ciertos aminoácidos libres, de la acción de microorganismos, de la presencia de ácidos grasos libres y del grado de lipólisis de la carne.

El mal sabor, la nutrición, manejo alimentario y manipulación durante y después de la cosecha, son elementos que afectan a la calidad del pescado destinado al consumidor. Los peces pueden adquirir sabores y olores indeseables, a través de la absorción de ciertas sustancias presentes en el agua de cultivo o en algunos tipos de ingredientes usados dentro de las raciones alimentarias (Kubitza, 1999).

**Raciones y mal sabor:** el mal sabor en los peces, asociado al uso de raciones alimentarias comerciales ha sido desechado o raramente observado. La mayoría de los granos, harinas y salvados de origen animal o vegetal utilizados en las raciones no alteran el sabor/olor de los filetes de pescado de manera detectable por los consumidores (Kaushik *et al.*, 1995; Skonberg *et al.*, 1998), aunque puedan causar diferencias en la pigmentación y textura de la carne, dependiendo del tipo de ingredientes utilizados y de su nivel de inclusión en las raciones.

**Ambiente y mal sabor:** la presencia de este factor, se produce en particular, más frecuentemente en los peces cultivados intensivamente en estanques, donde los niveles de ración ofrecida son altos, y en consecuencia el acúmulo de nutrientes favorece la intensa proliferación de cianofíceas (notablemente las del género *Oscillatoria*, *Anabaena* y *Simploca*, entre otras) junto a los hongos *Actinomicetes*. Estos organismos son los responsables de la producción de geosmina (GEO), asociada al gusto u olor de tierra o barro, y del metilisobornol (MIB), responsable por el gusto u olor a moho (olor de papel o libro mojado) en los peces provenientes de una piscicultura. Los peces cultivados en raceways o jaulas también pueden presentar mal sabor, dependiendo ello de la calidad de agua en sistemas de producción. Los malos sabores causados por la absorción de MIB o GEO son los

mayormente predominantes en piscicultura intensiva. Aunque menos frecuentes, otros sabores también pueden presentarse (Kubitza, 1999).

Estrategias para prevención y control de mal sabor:

- Sistema de producción con múltiples cosechas y siembras, posibilitando varias opciones de cosechas selectivas a un mismo momento en los estanques.
- Detección sensorial (degustación) de muestras de peces de los estanques en condiciones de ser cosechados.
- Control de la población de algas Cianofíceas con el uso de alguicidas a base de cobre, como por ejemplo el sulfato de Cobre. Alguicida autorizado para uso en peces destinados a consumo humano.

### **5.3.5 Grasa Intramuscular**

El contenido lipídico del principal componente de la carne, el músculo, es muy variable, aproximadamente del 1,5 al 13%. Consta fundamentalmente de lípidos de depósito y estructurales. Los lípidos de depósito son la fuente de energía celular. Están constituidos por ésteres del glicerol con ácidos grasos, predominando los triglicéridos, aunque también pueden contener pequeñas cantidades de monoglicéridos, diglicéridos y ácidos grasos libres. Aunque algunos lípidos neutros están presentes como acúmulos microscópicos en el interior de las células musculares. Este depósito corresponde a la grasa intramuscular conocido también como “veteado” o “marmorización” y presenta grandes diferencias, dependiendo del tipo de músculo, especie, raza, tejido, dieta e influencias medioambientales. Además de los lípidos de depósito, en las membranas celulares existen lípidos

estructurales, entre los que se encuentran los fosfolípidos y el colesterol, esenciales para la función celular. En contraste con los lípidos de reserva, los de las membranas celulares presentan una composición similar en todas las especies animales, a pesar de las amplias diferencias en la dieta y condiciones medioambientales. Aparte de la grasa muscular, los animales contienen también grasa de depósito localizada principalmente como capa subcutánea, aunque, asimismo, puede estar presente entre los músculos como depósito intermuscular y en la cavidad corporal (Ros y Martínez, 2010).

El contenido lipídico del pescado está inversamente relacionado con el acuoso, ya que los lípidos actúan como reserva, y se consume durante los distintos estados fisiológicos. Los lípidos se incluyen entre los componentes principales de los organismos acuáticos. Se concentran mayoritariamente en la capa grasa subcutánea de los peces grasos y en el hígado de los peces magros, en el tejido muscular y en las gónadas maduras. Según el contenido en grasa de la porción comestible del pescado, éstos se clasifican de la siguiente manera:

- **Magros:** con un contenido en grasa de hasta el 2,5% (merluza).
- **Semimagros o semigrasos:** del 2,5 al 6% (trucha).
- **Grasos:** del 6 al 25% (salmón) (Ackam, 1999).

Las variaciones tanto cualitativas como cuantitativas de los lípidos se producen en función de factores como la especie, la edad, el sexo, la época estacional, etc. El contenido de grasa en el pescado, independientemente de que sea magro o graso, tiene consecuencias sobre las características tecnológicas post mortem. Los cambios que ocurren en el pescado magro fresco pueden ser anticipados mediante el conocimiento de las reacciones bioquímicas en la fracción proteica, mientras que en las especies grasas deben incluirse los cambios en la fracción lipídica. Las implicaciones pueden ser una reducción en el tiempo de almacenamiento, debido a

la oxidación lipídica, o deberán tomarse precauciones especiales para evitar este problema (FAO, 1998).

Los lípidos presentes en las especies de peces pueden ser divididos en dos grandes grupos: los fosfolípidos y los triglicéridos. Los fosfolípidos constituyen la estructura integral de la unidad de membranas en la célula, por lo cual se denominan lípidos estructurales. Además de fosfolípidos, las membranas también contienen colesterol, que contribuye a la rigidez de la membrana. Los triglicéridos son lípidos empleados para el almacenamiento de energía en depósitos de grasas, generalmente dentro de células especiales (Ros y Martínez, 2010).

La gran diferencia radica en la grasa. Los pescados azules o grasos tienen entre un 8 y 15% de grasa intramuscular, pero como la mayoría de ese porcentaje es poliinsaturada, la que disminuye el colesterol total, hace que el beneficio del pescado tenga un valor nutricional elevado. Los pescados blancos contienen entre 1 y 3% de grasa, siendo más fáciles de digerir y menos calóricos que los azules (Kubitza, 1999).

La disposición anatómica en la trucha corresponde a la de un pescado blanco o semigraso, es decir, la grasa será situada principalmente en hígado, muy poca bajo la piel y casi nada en los músculos.

## VI. Técnicas instrumentales de medición de carne de trucha

### 6.1 Análisis instrumental de la carne

#### 6.1.1 Generalidades

Para analizar todos los parámetros de calidad de carne se llevan a cabo análisis tanto instrumentales como sensoriales. Los análisis instrumentales son objetivos y relativamente fáciles de realizar. Existen multitud de métodos adecuados a cada alimento y a cada parámetro. En los últimos tiempos, se han venido realizando esfuerzos por unificar todos estos métodos instrumentales para cada alimento y así poder comparar resultados entre equipos de investigación (AOAC, 1999; García, 2000; Pagès y Husson, 2001).

Para realizar todas estas pruebas sobre una base muscular homogénea se debe trabajar con un músculo de tamaño suficiente. Además, este músculo debería ser representativo de la calidad de la carne en una canal. El músculo que se utiliza generalmente para pruebas en peces es el dorsal (Ando *et al*, 1999) puesto que se extrae fácilmente de la canal, se puede filetear con mucha facilidad, y es de primera categoría, por tanto, representativo del valor comercial de la canal. Por ello, es necesario delimitar las zonas que serán utilizadas para cada análisis dentro del músculo; se extraerá preferiblemente a las 24 horas tras el sacrificio (Sañudo *et al.*, 2000).

#### 6.1.2 pH

El pH de los animales vivos se sitúa en un rango entre 7,08 y 7,30. Tras la muerte del animal se produce un descenso del mismo hasta valores entre 5,4 y 5,6

(Barriada, 1995). Existen diferentes factores que influyen en la caída del pH y en el valor final alcanzado.

Este valor de pH se mide con un potenciómetro que registra la diferencia de potencial eléctrico entre un electrodo de medición y otro de referencia. Los electrodos de medición pueden clasificarse, según el material del que estén contruidos, en electrodos metálicos, más resistentes, y de vidrio. También se pueden clasificar, según su forma y función, en electrodos de inmersión, para medir homogeneizados de carne, y de penetración, que con un extremo punzante permiten medir el pH en piezas de carne. El valor del pH varía con la temperatura de la disolución, por lo que, la medida obtenida debe ser corregida mediante un dispositivo de compensación automática de la misma, siendo necesario conectar una sonda de temperatura al potenciómetro. Existen equipos que traen incluido este sistema, pero en los que no lo traen, es necesario indicar la temperatura a la que se mide el pH para poder realizar las correcciones necesarias (Swatland, 1991; Garrido y Bañón, 2000).

Las medidas en la canal se realizarán por duplicado a los 45 minutos y 24 horas tras la muerte del animal, se sugiere utilizar un electrodo de penetración de 6 mm de diámetro. Para su calibración, se emplean disoluciones patrón de pH 4 y 7, respectivamente. La lectura del pH se efectuó mediante penetración del electrodo en el músculo procurando cubrir todo el electrodo (Ortiz, 2015). Las medidas sobre homogeneizados también se realizarán por duplicado, tomando 1 g de músculo, añadiendo 10 ml de agua destilada y homogeneizando durante un minuto (Carriles, 2007).

Urch (1993) y Jay (1994) reportan que el pH para todos los pescados oscila entre 6.6 y 6.8, inmediatamente después de su muerte, Prieto (1998) reportó pH de 6.6 en truchas arcoíris provenientes de una granja con sistema de producción de corriente rápida.

### 6.1.3 Color

El pescado se presenta en varias formas, texturas y sabores; el consumidor aprende a caracterizarlos asociándolos con colores específicos (blanco, rosado o rojo), siendo el color un elemento decisivo para juzgarlos al momento de su selección. El color, en general, se puede definir como una sensación subjetiva, resultado de una compleja serie de respuestas fisiológicas y psicológicas a la radiación electromagnética de longitudes de onda comprendidas en el intervalo de 400 a 700 nm. También se puede explicar cómo la interacción de una fuente luminosa (iluminante) sobre un objeto (alimento) en un entorno definido y determinado por un observador (Pérez-Álvarez, 1996).

Desde el punto de vista físico, la mayoría de los alimentos son traslúcidos, sin embargo, el color de la carne (pescado, mariscos y otras especies de abasto) se puede considerar como un fenómeno de superficie de un sólido opaco en el cual la luz incidente sufre fenómenos de absorción, reflexión o dispersión, pero por lo general existe escasa transmisión. En tanto, desde el punto de vista químico, el color se puede interpretar como el efecto producido principalmente por sustancias cromóforas (pigmentos) de origen hemo o isoprenoide (carotenoides) que se encuentran en la carne. Las proteínas juegan un papel fundamental pues no solo suministran aminoácidos esenciales dado que también generan propiedades básicas, como el color. A estas proteínas se les denomina cromoproteínas y contienen en la mayor parte de su estructura a un grupo porfirínico conjugado con un metal de transición, sobre todo el hierro (metaloporfirina), que forma complejos de coordinación (grupo hemo), siendo estos los responsables de la coloración. Asimismo, coexisten otros compuestos orgánicos con sistemas conjugados de naturaleza isoprenoide (carotenoides y carotenoproteínas) que desempeñan también un papel muy importante en el color del pescado. El estudio del color de manera instrumental parte de la determinación de los hemopigmentos y los

carotenoides. En la actualidad, el método o técnica que comienza a imponerse dado que no es destructivo y permite el estudio de la muestra a lo largo del tiempo, es el basado en la reflexión de la luz por parte del grupo hemo en sus diferentes estados (Hunt, 1991).

La determinación objetiva del color a través de la espectrofotometría de reflectancia, es uno de los métodos más utilizados debido a su estrecha correlación con la percepción visual del ojo humano. A diferencia de la espectrofotometría de absorción, la reflectancia se mide sobre la superficie del objeto y no es necesaria su destrucción, permitiendo evaluar los cambios de color a lo largo del tiempo sobre una misma muestra (Hunt, 1991). Es preciso resaltar que tradicionalmente los estudios del color se realizan sobre la fracción muscular, debido a que es allí donde se producen los principales cambios de color; cada color se puede identificar por su espectro de reflexión, pero también por algunas cifras (coordenadas) de forma independiente. Con estas coordenadas se pueden construir espacios o superficies (sólidos de color) donde cada uno de los diferentes colores existentes queda representado por un punto. En estos sólidos de color se representa de forma regular los factores psicológicos que modifican nuestra percepción del color, como el tono (rojo, naranja, amarillo, etcétera), la saturación o croma (muy intenso o menos intenso, según la proporción de gris presente en el color) y la luminosidad (situada entre el blanco y el negro) (Pérez-Álvarez y Fernández-López, 2000).

El Comité Internacional de la Iluminación (CIE, por sus siglas en francés; *Commission Internationale de l'éclairage*) desarrolló los sistemas más influyentes para la determinación del color, los cuales se basan en el uso de fuentes de iluminación estándares y un observador también estándar (Giese, 1995). El espacio físico de colores, definido por la CIE se basa en la teoría de la percepción tricromática. Entre la multitud de espacios definidos actualmente, la CIE recomendó el espacio de color CIELab. El espacio de color CIELab es un sistema tridimensional

esférico definido por tres coordenadas colorimétricas:  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  (Warris, 1995). Éstas son magnitudes adimensionales y se calculan a partir de fórmulas matemáticas. La coordenada  $L^*$  recibe el nombre de claridad o luminosidad, y puede tomar valores entre 0 y 100. Las coordenadas colorimétricas  $a^*$  y  $b^*$  forman un plano perpendicular a la luminosidad. La coordenada  $a^*$  define la desviación del punto acromático correspondiente a la luminosidad: hacia el rojo si  $a^*$  es positiva, y hacia el verde si  $a^*$  es negativa. Análogamente, la coordenada  $b^*$  define la desviación hacia el amarillo si  $b^*$  es positiva, y hacia el azul si  $b^*$  es negativa (Gilabert, 1992).

Además de las citadas, existen dos magnitudes colorimétricas llamadas también magnitudes psicofísicas: el tono ( $h^\circ$ ) y el croma ( $C^*$ ) calculadas a través de fórmulas matemáticas a partir de  $a^*$  y  $b^*$  (Pérez-Álvarez y Fernández-López, 2000). El espacio de color CIELab (iluminante D65, observador  $10^\circ$ ) ha sido adoptado como el más adecuado para la determinación objetiva del color en la carne y sus derivados (Cassens *et al*, 1995), y las recomendaciones reflejadas pueden ser aplicadas a los productos de la pesca. A continuación, se muestran los valores de las coordenadas de color CIEL $^*a^*b^*$  de la trucha fresca:

**Cuadro 7. Clasificación taxonómica, tipo, código FAO y valores objetivos de color (sistema CIELab) de distintas especies de pescado encontradas en el mercado español**

Nombre	Especie	Tipo	Código FAO	L*	a*	b*
Trucha	<i>Oncorhynchus mykiss</i> , 1792	R	TRR	37.18	10.26	9.70

R: Rosado; L\* coordenada Luminosidad; a\* coordenada rojo-verde; b\* coordenada amarillo-azul. Fuente: Sánchez-Zapata y Pérez-Álvarez (2007).

#### 6.1.4 Capacidad de retención de agua

Cuando se aplica una cierta presión sobre el músculo de pescado, los fluidos del tejido son expulsados. La medida del líquido liberado se usa para estimar la capacidad de retener agua, CRA. La CRA varía con las condiciones físicas del pescado, estado o maduración sexual, desove, etc. Además, la CRA es baja cuando el músculo está en la fase de *rigor mortis*, pero después se incrementa nuevamente. Luego de un almacenamiento prolongado generalmente disminuye. Existe también una correlación entre la CRA y otras propiedades físicas y químicas, por ejemplo, pH y contenido de sal (FAO, 1998).

La capacidad de retener agua puede medirse por dos principios diferentes. El primero involucra cortar una muestra de tejido, ubicarla en un papel de filtro y colocar sobre ella un cierto peso. A lo largo del tiempo han sufrido diversas modificaciones de las que se han realizado revisiones como la de Hamm (1986), pero la base del método es situar una cantidad de carne picada entre dos papeles de filtro, a su vez entre dos placas de metacrilato que se ajustan a mano mediante tornillos y tuercas de mariposa, manteniendo la presión un tiempo determinado. Se asume que el área del papel mojado por el jugo que queda fuera de la carne es proporcional al agua

liberada, y que la presión ejercida comprimiendo a mano las placas es tan grande, que las diferencias de presión no afectan a dicha área. Las ventajas de este método son su sencillez, rapidez y la poca cantidad de muestra que se necesita. Sin embargo, también presenta muchas desventajas: la muestra debe ser muy homogénea debido a su pequeño tamaño; las pérdidas por evaporación, especialmente en ambientes con baja humedad, pueden provocar resultados erráticos; se destruye la microestructura de la muestra durante la medida, por tanto, los resultados se producen en condiciones diferentes al estado normal de la carne y su interpretación puede ser complicada. A pesar de estas desventajas, se ha encontrado que este método es moderadamente efectivo a la hora de predecir las pérdidas por goteo de la carne durante el almacenamiento en refrigeración. También se ha sugerido que este método se puede utilizar para determinar la jugosidad de productos cárnicos cocinados (Lee y Patel, 1984), dado que el agua liberada durante la masticación de la muestra es también el resultado de la destrucción de la microestructura del músculo.

El segundo principio involucra ejercer una presión sobre la muestra de tejido muscular por centrifugación. Dentro de estos métodos los hay que utilizan altas velocidades de centrifugación y otros que utilizan bajas velocidades. En los de alta velocidad de centrifugación, ésta es utilizada para separar el agua unida. Las muestras varían en tamaño de 1 a 20 g, se centrifugan entre 5000 y 40000 g. La cantidad de agua liberada se determina directamente pesándola, o indirectamente pesando la muestra tras la centrifugación. Este método difiere poco del método de presión y, por tanto, presenta desventajas similares; sin embargo, no tiene la ventaja de ser rápido, como el de presión. A pesar de sus limitaciones, este método ha mostrado ser efectivo prediciendo las pérdidas por goteo del músculo crudo durante el periodo de almacenamiento (Kauffman y Marsh, 1994).

En el método de baja velocidad de centrifugación se utilizan muestras de entre 3 y 15 g y velocidades entre 200 y 800 g en tubos de centrifuga especiales. Estos tubos tienen un disco perforado situado en la mitad inferior del tubo, de manera que el líquido liberado es recogido de forma separada a la muestra. La cantidad de agua liberada se determina midiendo el peso que ha perdido la muestra o midiendo la cantidad de líquido directamente. Con este método se superan dos problemas que se presentaban con el anterior de alta velocidad. Debido a la baja fuerza de centrifugación utilizada, se reduce bastante el daño a la microestructura de la carne. Además, el diseño de los tubos elimina el problema de la posible reabsorción del agua liberada durante la centrifugación. Esta técnica es rápida y simple y ha sido utilizada con éxito como un método rápido para predecir las pérdidas por goteo en músculos que han sido previamente congelados (Hamm, 1986).

La CRA se expresa usualmente en términos del agua retenida en el tejido como porcentaje de su contenido total de agua, lo que significa que este último debe ser determinado en forma separada (FAO, 1998).

### **6.1.5 Textura**

Las principales características de la textura, obtenidas mediante el análisis del perfil de textura o TPA, se organizan según su orden de aparición en: iniciales, las percibidas al primer mordisco, que se subdividen a su vez en características mecánicas (dureza, viscosidad y friabilidad) y geométricas (cualquiera dependiendo del producto); masticatorias, las percibidas durante la fase de masticación, que se subdividen también en mecánicas (gomosidad, masticabilidad y adherencia) y geométricas; residuales, incluyen los cambios ocurridos durante la masticación y tras la deglución del alimento (velocidad y tipo de rotura, humedad y contenido graso del alimento). Las características mecánicas se relacionan con la reacción del alimento al esfuerzo; las geométricas se relacionan con la colocación de los

constituyentes físicos del alimento; y otras características, están relacionadas con la humedad y el contenido graso de un alimento. Han existido muchos intentos de estandarizar las metodologías para medir objetivamente la textura. En el ámbito internacional destacan los trabajos de Boccard *et al.* (1980) y Hönikel (1998), que se ha basado en el trabajo de un grupo de expertos bajo el patrocinio de la OECD. En nuestro país se han intentado aunar criterios respecto de la carne de vacuno y ovino (Beltrán y Roncalés, 2005). En general, los métodos instrumentales para medir la textura de los alimentos se pueden clasificar en tres tipos: fundamentales, empíricos e imitativos.

Métodos fundamentales. Se trata de definir lo más exactamente posible el comportamiento reológico del alimento, establecer las ecuaciones que rigen dicho comportamiento y medir los parámetros y coeficientes involucrados en dichas ecuaciones. Estos métodos son muy detallados y cuentan con bases teóricas muy bien establecidas, pero son muy lentos y requieren una interpretación de resultados muy laboriosa, por lo que su aplicación es escasa. Además, la correlación entre los resultados obtenidos y la evaluación sensorial del producto no es muy alta. Con estos métodos es posible evaluar la influencia de modificaciones mínimas en formulaciones alimenticias, pero en el caso de la carne fresca tienen escasa aplicación. Se podrían mencionar los ensayos de relajación y de compresión-descompresión, aplicados en numerosas ocasiones a carne y productos cárnicos (Lepetit y Salé, 1985).

Métodos empíricos. Son los más utilizados, a pesar de ser en su mayoría métodos destructivos. Se aplica un esfuerzo de cualquier tipo al alimento (compresión, corte, cizallamiento, punción, extrusión, flexión, tensión, etc.) y se mide su respuesta. Todo esto se hace de forma empírica y, por tanto, la interpretación de los resultados es igualmente empírica (Bourne, 1982). Las correlaciones obtenidas con los resultados del análisis sensorial suelen ser altas.

Existen diversos aparatos que se utilizan para este tipo de ensayos, mencionados en publicaciones como las de Voisey (1976) (que hace especial hincapié en el test de Warner-Bratzler), Brennan (1984), Lepetit y Culioli (1994) (con una amplia revisión de los test mecánicos y de la influencia del colágeno sobre la dureza de la carne), Anzaldúa-Morales (1994), Bourne (1996) (que habla de los componentes de cizallamiento y compresión en un test de punción), o Guerrero y Guàrdia (1999b) (que hablan de los principales ensayos utilizados en carne y derivados). Dentro de estos ensayos podemos destacar el de punción (Bourne, 1996), aplicado a carne y derivados en diversas ocasiones por Guerrero *et al.* (1997), entre otros, que obtuvieron correlaciones elevadas con los datos sensoriales; y el ensayo de Warner-Bratzler (Bratzler, 1932; Wheeler *et al.*, 1994), el más ampliamente utilizado en carne y que se detallará más adelante.

Métodos imitativos. Tratan de simular las condiciones en que el alimento se encontrará durante el proceso de masticación. Los aparatos utilizados tratan de imitar la acción de los dedos, los dientes, e incluso la boca. El ensayo más difundido es el perfil de textura instrumental o TPA (Bourne, 1978), consistente en comprimir el alimento entre dos superficies planas hasta un 25% de su altura inicial (compresión del 75%), dos veces sucesivas, con el fin de imitar a la mandíbula humana. Se obtiene una curva fuerza-tiempo de la que se pueden extraer siete parámetros diferentes, siendo los más interesantes en el caso de la carne la dureza, la elasticidad y la masticabilidad (Onega, 2003).

### **Medida de la dureza de la carne**

Como ya hemos mencionado, dentro de los parámetros que determinan la textura de la carne, la dureza es quizá el más importante debido a su influencia en la aceptación de una carne por parte del consumidor (Boleman *et al.*, 1997). Por ello es muy importante su determinación en la caracterización de una carne,

presentando importantes implicaciones económicas. Con todos los métodos antes mencionados se pueden obtener valores de dureza; sin embargo, el ensayo más ampliamente utilizado es el de cizallamiento con sonda Warner-Bratzler (Cross, 1994). Una de las máquinas más modernas para la medición de la textura de los alimentos (aplicable a pruebas fundamentales, empíricas e imitativas) es el Analizador de Textura TA-XT2, comúnmente llamado texturómetro. Este aparato, específicamente diseñado para alimentos, tiene controles electrónicos muy precisos, una elevada sensibilidad y gran versatilidad. Utiliza un programa informático asociado (con mejoras constantes) que permite recoger los datos y las gráficas automáticamente. Otro aparato bastante utilizado es la Máquina probadora universal Instron.

El texturómetro es un aparato que consta de una plataforma donde se deposita la muestra y de un brazo móvil al que se adaptan diversas sondas. El brazo con la sonda sube y baja a una velocidad constante, fijada por el experimentador, al igual que otros parámetros. El aparato va asociado a un ordenador, que es el que lo maneja y recoge los resultados del ensayo. La sonda Warner-Bratzler puede tener diversas formas: rectangular, triangular, en forma de “V” invertida, etc. Tras el ensayo se genera una curva fuerza-distancia, en la que el punto más alto determina el valor de fuerza máxima, utilizado como medida de la dureza de una carne (Mariezcurrera, 2010).

Muchos factores influirán en la repetibilidad de los resultados y en que se obtengan correlaciones elevadas con los análisis sensoriales (Guerrero, 1993; Van Oeckel *et al.*, 1999). Algunos de estos factores son el tamaño de la muestra (Guerrero y Guàrdia, 1999b), la temperatura de cocinado (Wheeler *et al.*, 1994), la velocidad de ensayo (Tornberg *et al.*, 1985), la dirección de las fibras (Lepetit y Culioli, 1994; Guerrero y Guàrdia, 1999a), la presencia de tejido conectivo en las muestras (Lepetit y Culioli, 1994).

Existen numerosos estudios en los que se ha aplicado este test a la carne, con resultados muy diversos que van desde ausencia de correlación con los valores de dureza sensorial hasta correlaciones bastante elevadas. Además, este ensayo ha sido ampliamente criticado, puesto que los resultados son difíciles de analizar desde el punto de vista mecánico. Es difícil precisar si el valor de dureza que se obtiene está relacionado con el componente miofibrilar o con el tejido conectivo, o en qué medida influyen cada uno de ellos. Es muy importante estandarizar al máximo las condiciones del ensayo, elegir cuidadosamente el tipo de ensayo utilizado, así como intentar que las condiciones en que se produce dicha prueba instrumental sean lo más parecidas posible a las que se dan en el análisis sensorial, para obtener buenas correlaciones. Muchas veces las bajas correlaciones obtenidas entre los métodos sensoriales e instrumentales no son debidas a una mala calidad de la medida sensorial, como se suele pensar, sino a importantes diferencias en lo que se está midiendo con ambos métodos (Guerrero, 1993; Guerrero y Guárdia, 1999b).

Además de los métodos más comúnmente utilizados, existen otros métodos objetivos de medida de la dureza, algunos de ellos de muy reciente desarrollo. Se puede citar la medida de la longitud de los sarcómeros, mediante microscopía o por difracción de rayo láser. También se puede medir el índice de fragmentación miofibrilar realizando una turbidimetría, o la separación de las proteínas miofibrilares por métodos electroforéticos (Onega, 2003).

### **6.1.6 Humedad**

La carne contiene aproximadamente entre un 70 y 75% de agua, de la cual el 70% es agua libre que se encuentra entre los espacios de los filamentos de actina y miosina, el otro 5% es agua ligada a proteínas. Según Izquierdo *et al* (1999) el filete de trucha arcoíris regularmente contiene un 77.3% de humedad. Cuando se hace la

determinación de humedad principalmente lo que se mide es el agua libre. El análisis del contenido de humedad o de materia seca, es en el análisis bromatológico probablemente más frecuentemente realizado, debido a que permite conocer el grado de dilución de los nutrimentos o componentes de la muestra (Bradley, 2003). A diferencia de las determinaciones de capacidad de retención de agua y pérdida por goteo, el análisis de humedad permite conocer el contenido total de agua en la muestra. La determinación de la humedad, se basa en la pérdida del agua por efecto del calentamiento en estufa con condiciones de aire forzado (Braña *et al.*, 2011).

Para la determinación de materia seca en carne, se utiliza el método oficial de la AOAC 950.46. En este método la muestra es secada en un horno o en una estufa a temperatura constante hasta que ya no varíe su peso y esa pérdida de peso se toma como una medida del contenido de humedad de la muestra. Estos métodos son simples, relativamente rápidos y permiten el análisis simultáneo de un gran número de muestras. En teoría sólo se volatiliza el agua, pero en la práctica, el calentamiento provoca la volatilización de otros materiales absorbidos y de productos gaseosos formados por una descomposición térmica irreversible de compuestos orgánicos. La eficacia de la determinación se ve afectada por la temperatura de secado, la humedad relativa del ambiente de la cámara de secado, el movimiento del aire y el vacío de la cámara, y el número y la posición de las muestras dentro del horno, entre otros factores (Pomeranz y Meloan, 1994).

El método gravimétrico que emplea una estufa, es ampliamente utilizado, sin embargo, existen otros métodos basados en el calentamiento con microondas o rayos infrarrojos. También pueden utilizarse métodos no destructivos y rápidos, como los basados en la espectroscopia de cercano infrarrojo (NIR) y la resonancia magnética nuclear (RMN) (Braña *et al.*, 2011).

### 6.1.7 Grasa

El análisis del porcentaje de grasa de la carne se realiza analizando la grasa intramuscular, también llamado “marbling” o veteado. La grasa intramuscular puede influir en la textura de la carne, tanto en la dureza como en la jugosidad (Barriada, 1995). Además, contribuye a la formación del aroma, da suavidad y untuosidad a la carne (aumenta con el aumento de grasa) e influye en la velocidad de desecación de la carne, que disminuye al aumentar la proporción de grasa (Carballo y López de Torre, 1991).

Existen múltiples variaciones del método generalmente utilizado para determinar la cantidad de grasa intramuscular, pero básicamente consisten en la extracción de la grasa de la muestra mediante disolventes orgánicos, que posteriormente se evaporan, pesando después el residuo.; comúnmente, los éteres se utilizan como solventes orgánicos que disuelven compuestos no polares (por ejemplo, triglicéridos), pero son poco eficientes con los lípidos polares (por ejemplo, fosfolípidos) lo que explica por un lado por qué la extracción con los éteres resulta en una menor cantidad de grasa (presumiblemente, no se extraen todos los fosfolípidos) y también porque, en muestras con mayor cantidad de grasa neutra tienden a ser más eficientes (puesto que extraen una mayor proporción de grasa) (Braña *et al.*, 2011).

Contrario a los éteres, las mezclas de cloroformo-metanol se caracterizan por ser una combinación de un solvente no polar (cloroformo) y uno polar (metanol), lo que permite la extracción de grasas tanto no polares como de aquellas polares (principalmente fosfolípidos asociados a membranas celulares), por lo que su uso, permite coleccionar mayores cantidades de lípidos en menor tiempo (Mariezcurrera *et al.*, 2010).

La trucha es un pescado que contiene menos del 5% de grasa, según estudios realizados por Dinleski *et al.* (1994) y Prieto (1998) reportan valores de 3.8% y 3.81% respectivamente. Existen una serie de métodos relativamente novedosos, como la determinación de la grasa intramuscular mediante análisis de frecuencias ultrasónicas. Se producen unas ondas que se van reflejando o refractando según pasan por distintas zonas del músculo. Es un método no invasivo, ni destructivo, rápido, y que ha obtenido un éxito notable en la predicción de la cantidad de grasa intramuscular. Otro de estos métodos es la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS), que se utiliza actualmente para determinar cuantitativamente componentes de la carne (grasa, agua, etc.). Mide la cantidad de radiación del infrarrojo cercano absorbida por la carne. Esta radiación es absorbida prácticamente por todas las moléculas y, por tanto, se pueden diferenciar los diversos componentes de la misma. Esta técnica también es rápida y no destructiva (Hildrum *et al.*, 1994).

El análisis de imagen es otra técnica que se utiliza para medir la cantidad de grasa. Puede ser muy útil en clasificación, aunque presenta los inconvenientes de que es destructiva, requiere un corte del músculo y no se puede hacer “on-line” (las dos anteriores sí). La proporción medida de grasa resulta de la proporción de superficie que el analizador detecta con un determinado color. El problema es que los acúmulos de tejido conectivo pueden ser registrados como grasa con esta técnica (Onega, 2003).

### **6.1.8 Proteína**

Las proteínas de la carne, se caracterizan por tener un alta valor biológico, lo que implica una muy adecuada proporción entre los aminoácidos que la conforman ya que proporciona todos los aminoácidos esenciales en cantidades equivalentes a los requerimientos del humano. Todos los aminoácidos que constituyen las proteínas contienen nitrógeno en su molécula, ésta es una característica que permite

determinar el contenido de proteína a partir de la cuantificación de este elemento. Sin embargo, la cantidad de nitrógeno presente en cada aminoácido, es variable. Por ejemplo, el porcentaje en peso de nitrógeno en una molécula de tirosina, es de 8.6%; mientras que en la arginina es de 35.9% (Hui et al., 2001). Lo que implica que cada molécula de proteína, en función de su perfil de aminoácidos, tendrá una cierta proporción de nitrógeno. En el caso de la carne, se ha considerado que debido a que el contenido de nitrógeno de las principales proteínas de la carne (miosina y actina) es de 16%, el factor convenido para estimar el contenido de proteína en función del contenido de nitrógeno en la carne, sea de 6.25, el cual resulta de dividir (100/16) (Braña et al., 2011).

Desde 1880, Johan Kjeldahl propuso el método para la determinación de proteína cruda. Un método que se sustenta en la cuantificación de nitrógeno en una muestra y en el cual se acepta que no necesariamente todo el nitrógeno determinado se refiere al nitrógeno  $\alpha$  del grupo amino de los aminoácidos o nitrógeno proteico, ya que la determinación puede incluir el nitrógeno no proteico de amidas, ácidos nucleicos y aminoácidos libres (Braña et al., 2011).

El método Kjeldahl se basa en la destrucción de la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado, formándose sulfato de amonio que en exceso de hidróxido de sodio libera amoníaco, el que se destila recibiendo en ácido sulfúrico donde se forma sulfato de amonio y el exceso de ácido es valorado con hidróxido de sodio en presencia de rojo de metilo (Cavieres, 2010).

El método Kjeldahl tiene la ventaja de ser el método en el que se basan la mayoría de las tablas de composición de alimentos y, de ser el principal método reconocido en las legislaciones de varios países. Sin embargo, el método de combustión ha incrementado su aceptación en la última década por ser un método muy rápido y amigable con el medio ambiente (Braña et al., 2011).

El método de combustión determina el nitrógeno liberado durante la combustión de las muestras a temperaturas de 900 a 950 °C mediante cromatografía de gases con un detector de conductividad térmica (Nielsen, 2010).

De acuerdo a estudios realizados por Dinleski *et al.* (1994) reportaron 20% de proteína en trucha, lo que concuerda con lo mencionado por el ICMSF (1985); el cual indica que los pescados bajos en grasa como la trucha tienen una composición media de 19% de proteína. La digestibilidad de la proteína de trucha es de 93 a 100%, por ello la proteína de pescado es nutritivamente tan buena o mejor que la proteína de otras carnes (Muller y Tobin, 1986; Jay, 1994).

## **VII. Técnicas no instrumentales de medición de carne de trucha**

### **7.1 Análisis sensorial de la carne**

#### **7.1.1 Generalidades**

Desde hace algunas décadas se ha venido intentando cuantificar las sensaciones percibidas por los consumidores al probar un alimento. Como disciplina emergente que es, el análisis sensorial genera una serie de opiniones divergentes en cuanto a los medios y las maneras de realizarlo; tradicionalmente en la industria la evaluación sensorial se veía como algo que realizaba un “experto” de la compañía que, tras años de experiencia acumulada, era capaz de describir los productos de la empresa y de fijar un estándar de calidad (Mariezcurrena, 2010).

La evaluación sensorial se comenzó a considerar de importancia a finales de los años 40, y durante los 50 fue promovida en parte por los esfuerzos del gobierno de los Estados Unidos de América para ofrecer una comida más aceptable para sus militares. Es una disciplina científica utilizada para provocar, medir, analizar e interpretar reacciones ante aquellas características de alimentos y materiales percibidas por los sentidos de la vista, el olfato, el gusto, el tacto y el oído, se realiza con fines muy precisos: valorar el nivel de satisfacción de los consumidores antes de lanzar al mercado un producto alimenticio; verificar la similitud o la diferencia entre dos alimentos; y medir, del mismo modo que un instrumento, la intensidad de los atributos de los alimentos (Stone y Sidel, 1993).

#### **7.1.2 Condiciones del análisis sensorial**

La evaluación sensorial es realizada por seres humanos que están sometidos a multitud de estímulos, los cuales pueden interferir en el juicio de los catadores. Por

eso es necesario considerar y controlar diversos aspectos en el desarrollo de las pruebas para que los resultados de las mismas sean válidos y evitar confusiones y malas interpretaciones de los resultados (Mariezcurrera, 2010).

### **Sala de cata**

La experiencia ha demostrado que, con independencia de los catadores, las condiciones externas que los rodean (iluminación, olores, ruidos, etc) influyen mucho sobre los resultados obtenidos. Por ello es necesario estandarizar al máximo todas estas condiciones para obtener resultados reproducibles (Anzaldúa-Morales, 1994).

Actualmente existen normativas tanto internacionales como nacionales (Normas UNE) que fijan las condiciones mínimas que deben reunir los locales donde se realiza el análisis sensorial, los utensilios, etc. Además, en multitud de manuales dedicados al análisis sensorial también se dan recomendaciones sobre otros aspectos asociados al desarrollo de las catas no sujetos a regulación específica (Fortín y Desplancke, 2001). Existe una Guía para la instalación de una sala de cata, Norma UNE 87-004. A grandes rasgos, las principales características que debe reunir un local de cata son:

- El área de preparación de las muestras debe estar separada del área de pruebas, y nunca deben ver los catadores al director de la prueba preparando las muestras que serán evaluadas.
- El local debe ser agradable y estar convenientemente iluminado, conservando un carácter neutro, por ello se recomiendan los colores lisos y claros en las paredes. La iluminación debe ser uniforme, regulable y de luz difusa.

- El local, además, debe ser de fácil limpieza y estará aislado de fuentes de ruido y de olores, por lo que debe tener un dispositivo eficaz de ventilación.
- El área de preparación de las muestras debe contar con todos los equipos y utensilios necesarios: menaje, estufa, plancha, fregadero, etc.
- La sala debe mantener unas condiciones térmicas e higrométricas agradables y constantes. Se recomienda una temperatura entre 20-22 °C y un 60-70% de humedad relativa.
- Las dimensiones de las cabinas para la evaluación sensorial también vienen fijadas en la norma. Serán idénticas entre sí y se situarán unas al lado de otras, aisladas por mamparas suficientemente altas y anchas como para que los catadores no puedan interaccionar entre ellos. Es importante que tengan una superficie lo suficientemente amplia para que el juez pueda realizar cómodamente la prueba. Sobre la mesa se colocarán las muestras, el cuestionario, cubiertos, servilleta, y vaso para el enjuague de la boca entre muestras.

### **Horario de las pruebas**

Es uno de los factores que más pueden afectar a los resultados de las pruebas. La evaluación sensorial no debe hacerse a horas muy cercanas a las de las comidas. Si los jueces acaban de comer o de desayunar no querrán ingerir alimentos y asignarán puntuaciones demasiado bajas (en las pruebas afectivas), o podrían alterarse sus apreciaciones de los atributos sensoriales. De la misma manera, si falta poco tiempo para la hora de la comida, el juez tendrá hambre y sus respuestas pueden verse alteradas. Los horarios recomendados son entre las 11 de la mañana y la 1 de la tarde, así como de 17 a 18 horas de la tarde; aunque el primer horario es el más adecuado (Anzaldúa-Morales, 1994).

## Muestras para la evaluación

La presentación de las muestras difiere dependiendo del tipo de panel que vaya a realizar el análisis. Si éste es llevado a cabo por un panel de jueces entrenados, la muestra a analizar se sirve sin aditivos o vehículos. Sin embargo, a los paneles de consumidores el producto se les sirve del modo habitual en que es consumido. El vehículo debe tener siempre las mismas condiciones y ser lo más insípido e inerte posible (Meilgaard *et al.*, 1999).

La temperatura de las muestras debe ser constante y la misma para todos los jueces. Generalmente las muestras deben servirse a la temperatura a la cual suele ser consumido el alimento a analizar. Cuando el alimento es cocinado y se consume en caliente, éste debe mantenerse a dicha temperatura hasta el momento de servirse, mediante de estufas u otros medios. El orden de presentación de las muestras debe ser aleatorio y codificación de las mismas debe hacerse cuidadosamente, para evitar inducir a una clasificación previa inconsciente asociada a otras existentes en la mente del juez (Anzaldúa-Morales, 1994).

### 7.1.3 Tipos de jueces

**Juez experto:** es una persona con gran experiencia en probar un determinado tipo de alimento y que posee una gran sensibilidad para percibir las diferencias entre muestras y para evaluar las características del alimento. Debido a su habilidad y experiencia, en las pruebas que efectúa sólo es necesario contar con su criterio. Su entrenamiento es muy largo y costoso, por lo que sólo intervienen en la evaluación de productos caros, como por ejemplo el té. Estos jueces están revisando constantemente sus habilidades y existen muy pocos en todo el mundo (Larmond, 1977).

**Juez entrenado o panelista:** es una persona con bastante habilidad para la detección de alguna propiedad sensorial, que ha recibido enseñanza teórica y práctica sobre la evaluación sensorial, sabe lo que debe medir exactamente y realiza pruebas sensoriales con cierta periodicidad. El número requerido es de al menos siete y como máximo quince. Se emplean para pruebas descriptivas y discriminativas complejas. Como los jueces expertos, deben abstenerse de hábitos que alteren su capacidad de percepción (Larmond, 1977).

**Juez semientrenado o “de laboratorio”:** son personas con un entrenamiento teórico similar al de los jueces entrenados, que realizan pruebas sensoriales con frecuencia y poseen suficiente habilidad, pero que generalmente sólo intervienen en pruebas discriminativas sencillas que no requieren una definición muy precisa de términos o escalas. Las pruebas con este tipo de jueces requieren un mínimo de 10 y un máximo de 20 o 25 jueces (Larmond, 1977).

**Juez consumidor:** son personas que no tienen nada que ver con las pruebas, ni han realizado evaluaciones sensoriales periódicas. Son elegidos al azar y sólo se emplean en pruebas afectivas (Costell y Durán, 1981). Es importante que sean consumidores habituales del producto a valorar o, en el caso de un producto nuevo, que sean los consumidores potenciales de dicho producto (Anzaldúa-Morales, 1994). El número de jueces necesario oscila entre 30 y 40 (ASTM, 1997).

#### **7.1.4 Reclutamiento de jueces**

Las normas de la Asociación Francesa de Normalización recomiendan entrenar alrededor de dos veces más de participantes de los que formarán el panel de cata definitivo. Las operaciones de reclutamiento y selección suelen eliminar cerca del 80% de los sujetos iniciales (Costell, 1983; Rutledge y Hudson, 1990). El reclutamiento puede ser externo a la empresa o institución que realiza el análisis

sensorial, o interno con personal de la propia empresa. En el primer caso se podrá reclutar un mayor número de individuos, que no estarán influidos en ningún caso al no tener ninguna conexión con el estudio. Sin embargo, cuando los jueces son de la misma empresa suelen estar disponibles con mayor facilidad y pueden implicarse más en el experimento (Stone y Sidel, 1993).

También se realizan pruebas como el test de Ishihara (1971) para detectar deficiencias en la percepción de los colores. Se presentan varios dibujos hechos con puntos de color, que tienen en el centro una cifra que deberán identificar. Esta prueba pone de manifiesto problemas de visión como el daltonismo, entre otros. En la prueba de reconocimiento de olores, propuesta por numerosos autores como Rutledge y Hudson (1990), los candidatos huelen pequeñas tiras impregnadas en olores comunes y deben identificar esos olores. Se selecciona a aquellos candidatos que reconozcan al menos siete de diez olores presentados. Existe un cuestionario propuesto por Meilgaard *et al.* (1999), con una decena de cuestiones concernientes a los alimentos centradas en el sabor y la textura permitiendo evaluar la capacidad de los candidatos de expresarse y describir sus percepciones, así como establecer la riqueza de su vocabulario. El resultado es difícil de cuantificar y sirve para calificar a sujetos que hayan alcanzado el mismo nivel en las dos pruebas anteriores. En la prueba de reconocimiento de los sabores básicos (recogida en la norma UNE 87-003) se presentan a los candidatos los cuatro sabores básicos, en concentraciones suficientemente elevadas para que sean reconocidos fácilmente por cualquier individuo. Se elimina a los que no hayan reconocido estos sabores (Guerrero, 1993). En la prueba con escalas se presentan a los candidatos diez figuras geométricas coloreadas en parte y deben evaluar la proporción sombreada del dibujo. Esto se hace mediante un trazo vertical en una escala lineal horizontal, cuyos extremos son “nada” y “todo”. Con esta prueba se obtiene una idea del espíritu lógico del candidato y de su aptitud para utilizar una escala, algo fundamental en el análisis descriptivo-cuantitativo. Se le atribuye un punto al candidato si el trazo marcado se encuentra

en la zona aproximada de la respuesta correcta  $\pm 4$  mm. El candidato debe obtener al menos siete puntos para ser seleccionado (Meilgaard *et al.*, 1999).

La última parte del reclutamiento es una entrevista personal que posibilita clasificar a los candidatos que hayan obtenido resultados equivalentes en las pruebas precedentes (Costell, 1983; Rutledge y Hudson, 1990). La motivación, la personalidad y la manera de expresarse serán criterios utilizados por el analista para elegir a las personas que pasarán a la siguiente fase de selección. Al final de la fase de reclutamiento quedarán unos treinta candidatos que serán sometidos a una fase de selección propiamente dicha. En la fase de reclutamiento se ha seleccionado a los candidatos con verdadero interés por el análisis sensorial, y en la fase de selección se elige a los candidatos con mayores aptitudes para dicho análisis (Fortin y Desplancke, 2001).

### **7.1.5 Escalas sensoriales**

Las dos mayores fuentes de variación en los datos de un panel sensorial son la diferencia en la manera en que los sujetos perciben el estímulo y las diferentes maneras en que los sujetos expresan esas percepciones. Las diferencias en la percepción son parte de la considerable variabilidad de los datos sensoriales, con la que el analista sensorial aprende a convivir. Por ello un panel sensorial pequeño es representativo sólo de él mismo y no de la población en general (Stone y Sidel, 1993), aunque otros autores lo consideren representativo de la población de jueces potenciales. La variación en las puntuaciones de los jueces puede ser minimizada, además de mediante el entrenamiento y la selección adecuada de la terminología, mediante las escalas utilizadas. A la hora de elegir la manera de medir las respuestas, el analista debería seleccionar el método sensorial más simple que pueda medir las diferencias esperadas entre muestras y que minimice el tiempo de entrenamiento del panel. La escala es el instrumento que se utiliza para medir las

respuestas sensoriales y es una parte fundamental dentro del análisis sensorial (Meilgaard *et al.*, 1999). De la correcta elección de la escala de medida puede depender el éxito de una evaluación sensorial. Para obtener los mejores resultados posibles, una escala debe ser:

- **Útil** a los sujetos: las palabras usadas deben ser familiares, fácilmente inteligibles y nada ambiguas. Deben estar relacionadas con el producto y la tarea a realizar.
- **Poco complicada de usar**: si no ocurre así, se producirá frustración en los sujetos, incremento de los errores de medida y menores diferencias entre los productos.
- **Sin prejuicios**: los resultados no deben ser un artificio de la escala utilizada.
- Idealmente la escala no debería tener ninguna influencia sobre el desarrollo de la prueba. Las escalas desequilibradas predisponen fácilmente los resultados porque disminuyen la probabilidad esperada para respuestas en categorías que están poco representadas.
- **Relevante**: esto relaciona a la escala con la validez o la vigencia; la escala debe medir ese atributo, característica o actitud: por ejemplo, las escalas de preferencia deben medir preferencia, las escalas de calidad deben medir calidad, y no es propio intercambiarlas.
- **Sensible a las diferencias**: la longitud de la escala y el número de categorías son variables que pueden tener un efecto significativo.
- Proporcionar una **variedad de análisis estadísticos** por los que se puedan analizar los resultados obtenidos.

Existen fundamentalmente cuatro tipos de escalas: nominales, ordinales, de intervalo y proporcionales.

## **Escalas nominales**

En estas escalas los números son utilizados como etiquetas o códigos. En estas escalas hay total independencia del orden entre las categorías. Este orden puede ser cambiado sin alterar la lógica de la pregunta o el tratamiento de los resultados. Una ventaja es que las personas tienen muy poca o ninguna dificultad a la hora de responder en estas escalas; esto es importante cuando hay un número elevado de alternativas. Es posible convertir datos de escalas nominales asignando rangos o porcentajes basados en frecuencias, lo que permite el uso del análisis estadístico. A pesar de que este tipo de escalas son poco utilizadas, requieren un tiempo de test limitado, son fáciles de usar, y con un análisis sencillo proporcionan resultados rápidos (Stone y Sidel, 1993).

## **Escalas ordinales**

Estas escalas usan números o palabras organizadas de “alto” a “bajo” o “más” a “menos”, etc, con respecto a algún atributo de un conjunto de productos. Las categorías no son intercambiables. Se considera que son las más básicas para medir las intensidades percibidas y tienen más en común con otras escalas de magnitud que las nominales. Con este tipo de escalas lo más frecuente es hacer una ordenación o “ranking” de los productos respecto de la característica estudiada. Su mayor inconveniente es que no se mide la magnitud de la diferencia entre productos y los datos no indican la localización (solo dicen que es más o menos que otro). El análisis de los datos incluye los métodos para escalas nominales, en particular los métodos no paramétricos. Una alternativa a la información limitada que se obtiene de estas ordenaciones es el uso de escalas en las que se dan categorías ordenadas a lo largo de un continuo. Son quizá las escalas más ampliamente usadas en evaluación sensorial. Algunas tienen una palabra y/o números para cada categoría de la escala, mientras que otras sólo están ancladas en los extremos. Una

escala ordinal puede tener propiedades de intervalo y también se puede hacer la aproximación de que la distancia entre intervalos es igual y usar el análisis paramétrico, asumiendo también que los resultados son consistentes con una distribución normal (Land y Shepherd, 1988).

### **Escalas de intervalo**

Son aquellas en las cuales se asume que el intervalo o la distancia entre puntos en la escala es igual y tiene un punto cero arbitrario. Las dos escalas de intervalo más familiares en análisis sensorial son la escala hedónica de nueve puntos y la escala proporcional (rating) gráfica. Dentro de esta última está la escala lineal anclada en los extremos. Se mide la distancia desde el borde izquierdo hasta donde se marque y se obtiene un valor numérico para poder computarlo. Las escalas intervalo se consideran escalas cuantitativas y se pueden usar la mayoría de los procedimientos estadísticos para su análisis (Lawless, 1989).

### **Escalas proporcionales**

Tienen las mismas propiedades que las escalas de intervalo y, además, presentan una proporción constante entre puntos y un cero absoluto. El sujeto mide una característica y asigna un valor numérico (ni cero ni fracción) a cada estímulo (Lawless y Malone, 1986a, 1986b). Iguales proporciones de estímulo producen iguales proporciones de respuesta.

### **Otras escalas**

Existen otras escalas de uso bastante popular por su fácil manejo, entre ellas está la escala hedónica de nueve puntos, las escalas faciales, etc. Cuando se estaba investigando para encontrar una escala apropiada para medir la aceptabilidad de

alimentos para los militares se llegó a la escala hedónica con nueve puntos o categorías. En esta escala se describen nueve términos asociados a la percepción del juez tras probar el alimento. Sirve para cualquier tipo de alimento, bebida u otro material. Las escalas hedónicas siempre tienen un número impar de términos y un punto intermedio (por ejemplo: ni me gusta ni me disgusta). Se puede usar la estadística paramétrica para tratar los resultados, considerando que los datos se distribuyen normalmente (Anzaldúa-Morales, 1994).

Otras escalas utilizadas en pruebas afectivas son las escalas faciales. Están formadas por un número variable de dibujos de expresiones faciales, ordenadas secuencialmente desde una expresión muy sonriente hasta otra de disgusto extremo. Cada uno de estos dibujos puede ser transformado en un número y ser analizado estadísticamente como en otras escalas. Son muy utilizadas cuando se trabaja con niños o con personas que tienen limitadas sus habilidades para leer y comprender. Sin embargo, puede generar problemas de distracción y por ello, es recomendable sustituirla por la escala hedónica, acompañada de una explicación adaptada al tipo de individuos que vayan a utilizarla (Stone y Sidel, 1993).

## **7.2 Tipos de pruebas sensoriales**

Hay un gran número de pruebas sensoriales de distintas características y diferente campo de aplicación, y para facilitar su estudio, las pruebas sensoriales suelen clasificarse en grupos. Entre los distintos criterios que se pueden usar para agruparlas, uno de los más útiles es considerar el tipo de información que proporcionan, de acuerdo a este criterio, las pruebas sensoriales se pueden clasificar en: Discriminatorias, Descriptivas y de Preferencia - Aceptación (Costell y Duran, 1981; Anzaldúa-Morales, 1994).

Las pruebas discriminatorias y las descriptivas constituyen test analíticos, mientras que las pruebas de preferencia-aceptación son test afectivos (Watts *et al.*, 1992). Las pruebas analíticas son utilizadas para evaluar productos en términos de diferencias o semejanzas, así como para identificar y cuantificar características sensoriales, y, por tanto, requieren de panelistas entrenados. Las pruebas afectivas son empleadas para evaluar preferencia y/o aceptación de productos, estos panelistas no son entrenados, pero son seleccionados para que representen la población objetiva o potencial (IFT, 1981).

Wittig de Penna (1981) clasifica los test sensoriales en dos categorías: métodos de respuesta objetiva y métodos de respuesta subjetiva, los primeros requieren de un panel entrenado para ser aplicados, en ellos el juez no considera su preferencia personal, sino que evalúan el producto según su conocimiento previo. Mientras que los segundos utilizan la sensación emocional que experimenta el juez en la evaluación y da su preferencia en ausencia de influencia externa y de entrenamiento. Ambas clasificaciones están relacionadas, dado que las pruebas discriminatorias y descriptivas corresponden a métodos de respuesta objetiva y las pruebas de preferencia-aceptación corresponden a métodos de respuesta subjetiva. Existen tres tipos principales de pruebas para realizar un análisis sensorial: las pruebas afectivas, las discriminativas y las descriptivas. Se elegirán unas u otras dependiendo del objetivo que se pretenda alcanzar en un determinado estudio.

### **7.2.1 Pruebas discriminatorias**

Las pruebas discriminatorias son aquellas en las que no se requiere conocer la sensación subjetiva que produce un alimento a una persona, sino que se desea establecer si hay diferencias significativamente perceptibles entre una o más muestras y, en algunos casos, la magnitud o importancia de esa diferencia. Estas pruebas pueden utilizarse para determinar si ha ocurrido un cambio perceptible en

la apariencia, sabor o textura de un alimento, como resultado de su almacenamiento o si ha ocurrido un cambio en el proceso de elaboración o alteración en algún ingrediente (Watts *et al.*, 1992).

Las pruebas discriminatorias más comúnmente empleadas de acuerdo a Costell y Duran (1981), Witting de Penna (1981) y Anzaldúa-Morales (1994) son la siguiente:

- Estímulo único
- Comparación pareada
- Dúo – trío
- Triangular
- Comparación pareada de Scheffé
- Comparación múltiple
- Test de ordenamiento
- Test de puntajes

A continuación, se describen brevemente las más utilizadas:

### **Prueba de comparación apareada simple**

Se les presentan a los catadores dos muestras para que las comparen respecto de un determinado atributo sensorial e indiquen cuál de ellas tiene mayor intensidad del citado atributo. Es una prueba muy sencilla y no hay riesgo de fatiga sensorial. Sin embargo, la probabilidad de dar una respuesta acertada debido al azar es muy elevada, del 50%. La interpretación de los resultados se realiza mediante una tabla como “prueba de una cola”, buscando el número de aciertos para establecer la diferencia significativa (Larmond, 1977).

### **Prueba dúo-trío**

Se presentan tres muestras a los jueces de forma simultánea o consecutiva, de las cuales una está identificada como referencia y las otras dos están codificadas, siendo una de ellas igual a la muestra de referencia. Cuando se presentan todas las muestras simultáneamente se debe probar en primer lugar la referencia. El juez debe indicar cuál es la muestra igual a la de referencia (es un juicio forzado). Es una prueba similar a la triangular, pero es menos eficiente porque la probabilidad de acertar al azar es de un 50%. La interpretación de los datos se realiza por medio de la misma tabla que se utiliza en la prueba de comparación apareada simple, como “prueba de una cola” (Anzaldúa-Morales, 1994).

### **Prueba Triangular**

Esta prueba permite realizar selección de panelistas, medir propiedades sensoriales de los alimentos, reconocer diferencias en los productos y es muy útil para identificar pequeñas diferencias (Vergara, 2007).

El test consiste en entregar al panelista tres muestras codificadas, en donde dos de estas muestras son iguales y una es diferente, el objetivo del test es que el panelista identifique la diferente y además pueda comentar acerca de dicha diferencia. La interpretación de las respuestas se realiza utilizando tablas, en las cuales se identifica si existe diferencia significativa, relacionando el número de panelistas que participan en la prueba y el número de respuestas correctas (Wittig de Penna, 1981 y Anzaldúa-Morales, 1994).

## **Perfil de Sabor**

Este método fue desarrollado a finales de los años 40 en la Arthur D. Little, Inc. y consiste en el análisis del aroma y el sabor percibidos en un producto, su intensidad, el orden de aparición y el regusto o persistencia, mediante un panel de jueces (de cinco a ocho) extensamente entrenados. La obtención de atributos se realiza por la técnica de la generación y la selección de descriptores. Mediante el entrenamiento se les enseña a los jueces un amplio vocabulario, las escalas de intensidad y las técnicas de olfacción y degustación. La utilización de referencias es otro aspecto importante de esta técnica, que además deben utilizarse para la calibración de intensidades. Este método no permite el análisis estadístico, los resultados individuales se someten a una discusión en grupo hasta alcanzar un consenso entre todo el panel (Stone y Sidel, 1993).

## **Perfil de textura**

Este método se desarrolló en el Centro de Investigación de la General Foods. Constituye un acercamiento a la medida de la textura de los alimentos en términos mecánicos, geométricos y de características de grasa y humedad, además del grado de intensidad en que se presentan, así como el orden en que aparecen desde el primer mordisco, pasando por la masticación, hasta la fase residual. El método se ha ido implementando hasta la actualidad, incluso ha sido ampliado a productos distintos de los alimentos (ASTM, 1997).

Fundamentalmente el entrenamiento de los catadores se puede dividir en cuatro fases: en la primera se estudia la clasificación de las características de textura mediante el uso de escalas de referencia, en una segunda fase se evalúan numerosos alimentos diferentes a los propuestos en las escalas; en la tercera se estudian las propiedades geométricas; y en la cuarta se realizan perfiles completos

de varios productos. Habitualmente, la medida de las magnitudes se realiza, al igual que en el perfil de sabor, mediante escalas de categorías o de intervalos. Dependiendo del tipo de escala que utilice el panel y de la forma en que los datos sean tratados, el resultado de la prueba puede derivar del consenso de los jueces o de un análisis estadístico de los datos (Meilgaard *et al.*, 1999).

### **7.2.3 Pruebas afectivas**

También llamadas estudios de consumidores, son aquellas pruebas en las cuales los jueces expresan su opinión personal y subjetiva sobre un producto, indicando si les gusta o les disgusta, si lo aceptan o lo rechazan, o si lo prefieren a otro producto (Larmond, 1977). Para realizarlas se utiliza un mínimo de 30 jueces no entrenados, que deben ser consumidores habituales o potenciales del alimento a evaluar.

Presentan una gran variabilidad en los resultados obtenidos y éstos son difíciles de interpretar. Dentro de estas pruebas se distinguen tres tipos de ensayos: las pruebas de preferencia, las pruebas de grado de satisfacción y las pruebas de aceptación (Anzaldúa-Morales, 1994).

#### **Pruebas de preferencia**

En esta prueba se pretende saber si los jueces prefieren una determinada muestra a otra. En este caso no se busca la capacidad de los jueces para discriminar muestras, simplemente se quiere conocer su opinión como consumidor habitual del producto (Larmond, 1977).

### **Pruebas de grado de satisfacción**

Cuando se pretende evaluar más de dos muestras a la vez, o se quiere obtener más información acerca de un producto que en la prueba anterior, se realiza este tipo de prueba. Para ello se recurre a unas escalas hedónicas que serán los instrumentos para medir las sensaciones producidas por el alimento en el juez, ya sean placenteras o desagradables (Anzaldúa-Morales, 1994).

### **Pruebas de aceptación**

El deseo de una persona de adquirir un producto es lo que se llama aceptación, y no sólo depende de la impresión agradable o desagradable que reciba el individuo al probar el alimento, sino también de aspectos culturales, socioeconómicos, etc. Con frecuencia el término “prueba de aceptación” es utilizado erróneamente para referirse a alguna de las dos pruebas anteriores, aunque la prueba de aceptación puede abarcar a una de las otras dos (Anzaldúa-Morales, 1994).

#### **IV. LÍMITE DE ESPACIO**

El presente trabajo se realizó en las instalaciones de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, y la biblioteca El Cerrillo, ubicada en El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México C.P. 50090.

## V. LÍMITE DE TIEMPO

El presente trabajo se realizó conforme a lo descrito en el siguiente cuadro:

ACTIVIDAD	FECHA
Inicio de investigación	Mayo 2016
Investigación bibliográfica	Mayo 2016 a marzo 2017
Inicio de elaboración de protocolo	Mayo 2016
Entrega de protocolo	Mayo 2017
Documentación de la tesina	Agosto 2017
Conclusión de tesina	Septiembre 2017

## CONCLUSIONES

Los trabajos de difusión del conocimiento científico a través de documentos como éste, proporcionan sin duda, los elementos sobre los cuales la piscicultura se ha construido, posicionándola en el lugar del mundo que hoy tiene.

La carne es una fuente indiscutible de proteína altamente digestible, en menores proporciones de lípidos, vitaminas y minerales.

En los primeros capítulos se habla sobre la importancia de la industria piscícola enfatizando en la carne y todos los factores relacionados con ella desde el músculo hasta su conversión a carne. Posteriormente se habla sobre los factores que afectan la calidad de la carne y los parámetros que la definen. Por último se mencionan las técnicas instrumentales y no instrumentales.

Sin lugar a dudas, la forma en la que es presentada la información, permite compartir el conocimiento en la materia tanto para los especialistas, productores y alumnos afines, para que con este documento, las personas logren mantenerse al día en el tema tratado.

El documento, que reúne las técnicas para determinar la calidad de la carne tanto instrumentales como no instrumentales ayudan tanto a los productores como a los especialistas del ramo a mejorar su producto con el fin de ampliar los mercados a los que actualmente no se ha podido acceder; además es importante mencionar que los equipos necesarios para las determinaciones así como los expertos en los mismos laboran en la FMVZ-UAEM.

## Bibliografía

Ackman RG. (1999): Composición y valor nutritivo de los lípidos del pescado. En: El pescado y los productos de la pesca. Composición, propiedades nutritivas y estabilidad. Ruitter A (ed). Editorial Acribia. Zaragoza, España.

Ando M, Yoshimoto Y, Inabu K, Nakagawa T y Makimodan Y. (1995): *Post mortem* Change of Three-Dimensional Structure of Collagen Fibrillar Network in Fish Muscle Pericellular Connective Tissues Corresponding to *Post mortem* Tenderization. *Fisheries Science*, 61: 327-330.

Ando M; Nishiyabu A; Tsukamasa y Makinodan Y. (1999): *Post mortem* softening of fish muscle during chilled storage as affected by bleeding. *Journal of Food Science*, 64: 423-428.

Anzaldúa-Morales A. (1994): La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Editorial Acribia, Zaragoza. No. 78.

AOAC. (1999): Official methods of analysis of the association of analytical chemists 15th Edition. Association of Official Analytical Chemists, Inc. Arlington, Virginia.

ASTM. (1997): Standard Guide for Time-Intensity Evaluation of Sensory Attributes. Standard Guide E 1909-97. Philadelphia.

Ayala MD, López-Albors O, Gil F, Ramírez-Zarzosa E, Abellán E y Moreno F. (1999): Red muscle development of Gilthead Sea Bream *Sparus aurata*, (L): Structural and ultrastructural morphometry. *Anatomia, Histología, Embryología: Journal of Veterinary Medicine Series, World Association of Veterinary Anatomist*, 28:17-21.

Badui S. (2012): La ciencia de los alimentos en la práctica. 1a Ed. Pearson Educación. México.

BANCOMEXT. (2006): Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México Calidad Suprema en trucha arco iris. México: Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

Barriada M. (1995): Variables que determinan la calidad de la canal y de la carne en vacuno. Revista Bovis Octubre, 66: 95-111.

Bavera GA. (2006): Definición de carne, res, faena, rinde y dressing. Cursos de producción bovina de carne. Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto, Argentina. [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar) (20-Abril-2016).

Beltrán JA y Roncalés P. (2005): Determinación de la textura. Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa). Cañeque V y Sañudo C (ed). INIA. 237-242 pp.

Bendall JR. (1961): *Post mortem* changes in muscle. The Structure and Function of Muscle. Editorial G.H. Bourne. Academic Press, New York.

Bendal JR. (1973): *Post mortem* changes in muscle. The structure and function of muscle II. Structure 2. Editorial G.H. Bourne Academic Press. 309-344 pp.

Blanco M. (1994): La trucha, cría industrial. Editorial Mundi-prensa. 2° ed. Madrid-Barcelona-México.

Boccard R, Valin C y Bonaiti B. (1980): Effect of genotype on pigment, lipid content of the *longissimus dorsi* muscle in young bulls. 26th European Meet. of Meat Res. Workers. Colorado, USA, 1: 271-274

Boleman SJ, Miller RK, Taylor JF, Cross HR, Wheeler TL, Koohmaraie M, Shackelford SD, Miller MF, West RL, Johnson DD y Savell JW. (1997): Consumer evaluation of beef of known categories of tenderness. Journal of Animal Science, 75: 1521-1524.

Bornstein H y Sage H. (1980): Structurally Distinct Collagen Types. Annual Review Biochemistry. 49: 957-1003.

Bourne MC. (1978): Texture Profile Analysis. Food Technology. 32: 62-66.

Bourne MC. (1982): Food Texture and viscosity: Concept and measurement. Academic Press., New York.

Bourne MC. (1996): Measure of shear and compression components of puncture tests. Journal of Food Science. 31: 282-291.

Bozoğlu M, Ceyhan H, Cinemre A, Demiryürek K y Kiliç O. (2007): Important factors affecting trout production in the Black Sea Region, Turkey. Czech Journal of Animal Science, 52: 308-313.

Bradley R. (2003): Moisture and total solids analysis. En: Food analysis. Nielsen S (Ed). Kluwer Academic. 3a ed. New York, USA.

Braña VD, Ramírez RE, Rubio LMdelaS, Sánchez EA, Torrescno UG, Arenas MML, Partida PJA, Ponce AE y Ríos RFG. (2011): Manual de Análisis de Calidad en Muestras de Carne. 1a ed. INIFAP. Querétaro, México. 57-58 pp

Bratzler LJ. (1932): Measuring the tenderness of meat by mechanical shear. Thesis. Kansas State College, Manhattan, USA.

Brennan JG. (1984): Texture perception and measurement. In: Sensory Analysis of Foods. Piggott JR. (ed). Elsevier Applied Science Publishers, London.

Buttkus H. (1963): Red and white muscle offish in relation to rigor mortis. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 20: 45-58.

Caballero A. (2008): Temas de Higiene de los Alimentos. La Habana: Ciencias Médicas.

Carballo B y López de Torre G. (1991): Manual de bioquímica y tecnología de la carne. Servicio de Investigación Agraria de la Junta de Extremadura.

Carpene E, Veggetti A y Mascarello F. (1982): Histochemical fibre types in the lateral muscle of fishes in fresh, brackish and salt water. Journal of Fish Biology. 20: 346-379.

Carrera E, García T, Céspedes A, González I, Sanz B, Hernández P. y Martín R. (1998): Identification of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by using polymerase chain reaction amplification and restriction analysis of the mitochondrial cytochrome b gene. Journal of food protection, 61: 482-486.

Carriles ANA. (2007): Efecto de hielo líquido y hielo en escamas como tratamientos previos de conservación en el salmon coho (*Oncorhynchus kisutch*) cocido y en conserva: modificación de sus propiedades físicas, químicas y sensoriales. Tesis de licenciatura. Facultad de ciencias químicas y farmacéuticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Cassens RG, Demeyer D y Eikelenboom G. (1995): Recommendation of reference method for assessment of meat color. Proceedings of the 41st International Congress of Meat Science and Technology. San Antonio, Texas. 410-411 pp.

Cavieres BCL. (2010): Determinación de la pérdida de calidad funcional, química, sensorial y microbiológica del belly de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) durante su conservación en refrigeración. Tesis de licenciatura. Facultad de ciencias químicas y farmacéuticas. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Chacón PO. (2000): Caracterización de la Calidad: Microbiológica, de la Canal y de la Carne de Trucha Arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) Producida en la Región Noroeste del Estado de Chihuahua. Tesis de Maestría. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chihuahua; México. 114 pp.

Chambers E y Bowers JR. (1993): Consumer perception of sensory qualities in muscle food. Sensory characteristics of meat consumer decisions. Food Technology, 47: 116–120.

Chavez F. (2009): Calidad de la carne. En: Calidad de la canal de la carne: <http://www.itgqanadero.com/docs/itg/docs/.../Pirenaica/77-85-pirena.pdf> (04-Abril-2017).

Cheftel J y Cheftel H. (1976): Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España.

Chiyong J. (2010): Procesamiento y Conservas de Trucha. Universidad Nacional Federico Villarreal. Lima, Perú.

CIE (Commission International de l'Eclairage). (1986): Colorimetry. 2nd Ed. Viena.

Clydesdale F. (1991): Colour perception and food quality. *Journal of Food Quality*, 14: 61-74.

Coche AG, Muir JF, Laughlin T, D'Antoni E, Macias Duimich C y Lore J. (1998): Transporting live fish. In: Simple methods for aquaculture: management for freshwater fish culture, fish stocks and farm management. FAO (ed). Rome, Italy. 196-228 pp.

CONAPESCA. (2011): Anuario Estadístico de Pesca 2003. Mazatlán, México.

CONAPESCA. (2013): Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2013. México. [http://www.conapesca.gob.mx/wb/cona/estadisticas de produccion pesquera](http://www.conapesca.gob.mx/wb/cona/estadisticas_de_produccion_pesquera) (22-agosto-2017).

Costell E y Duran L. (1981): El análisis sensorial en el control de la calidad de los alimentos. II. Planteamiento y planificación: selección de pruebas. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, 21: 149-165.

Costell E. (1983): El equipo de catadores como instrumento de análisis. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, 23: 1-10.

Cross HR. (1994): Características organolépticas de la carne. Parte 1. Factores sensoriales y evaluación. En: Price, J.F., Schweigert, B.S. Ciencia de la carne y de los productos cárnicos. Editorial Acribia, Zaragoza.

Delbarre-Ladrat C, Cheret R, Taylor R y Verrez-Bagnis V. (2006): Trends in Post mortem Aging. In: Fish: Understanding of Proteolysis and Disorganization of the Myofibrillar Structure. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 46: 409-421.

Dinleski B, Ockerman H y Domoski P. (1994): Fish muscle. Meat Focus International, 11: 459-463.

Dransfield E, Nute GR y Francombe MA. (1984): Comparison of eating quality of bull and steer beef. Animal Production Science, 39: 37-50.

Durazno BE. (2006): Aprovechamiento de los productos pesqueros. Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, Baja California. México.

FAO (Food and Agriculture Organization). (1998): El pescado fresco: su calidad y cambios de su calidad. Huss HH. (ed). Documento Técnico de Pesca N° 348. Roma. 195 pp.

FAO (Food and Agriculture Organization). (2005): El uso del hielo en pequeñas embarcaciones de pesca. Documento técnico de Pesca. Roma, Italia. 120 pp <http://www.fao.org/3/a-y5013s.pdf> (19-Enero-2017).

FAO (Food and Agriculture Organization). (2006-2010): Aquaculture topics and activities. Acuicultura. En: FAO Fisheries and Aquaculture Department. Rome. <http://www.fao.org/fishery/aquaculture/es> (12-Mayo-2016).

FAO (Food and Agriculture Organization). (2014): Manual práctico para el cultivo de la trucha arcoíris. Guatemala, Guatemala. <http://www.fao.org/publications> (17-Enero-2017).

FAO (Food and Agriculture Organization). (2016): Calidad de los animales. Roma, Italia. <http://www.fao.org/ag/ags/gestion-poscosecha/carne-y-productos-carnicos/antecedentes-y-consumo-de-carne/calidad-de-los-animales/es/> (21-Abril-2016).

Fischer C y Hamm R. (1980): Biochemical studies on fast glycolysing bovine muscle. *Meat Science*, 4: 41-49.

Foegeding EA, Lanier TC y Hultion HO. (2000): Características de los tejidos musculares comestibles. *Química de los alimentos*. Fennema OR. (ed). Editorial Acribia. Zaragoza, España.

Florenciano AMD. (1999): Influencia de la temperatura sobre el crecimiento muscular de la lubina, *Dicentrarchus labrax* L., durante el desarrollo larvario. Tesis de doctorado. Facultad de Veterinaria, Universidad de Murcia. Murcia, España.

Fortín J y Desplancke D. (2001): Guía de selección y entrenamiento de un panel de catadores. Acribia, S.A., España. 1-22 pp.

Gallo C. (2009): Transporte y reposo pre-sacrificio en bovinos y su relación con la calidad de la carne. En: *Bienestar Animal y Calidad de la Carne*. Mota RD. y Guerrero LI (Eds). Editorial BM Editores. México. 15-36 pp.

García MD. (2000): Introducción. Metodología para el estudio de la calidad de la canal y de la carne en rumiantes. Coords. V. Cañequé y C. Sañudo. Monografías INIA: Ganadera. 1: 11-16.

García OA y Calvario MO. (2003): Consideraciones de inocuidad durante la cosecha. En: Manual de buenas prácticas de producción acuícola de trucha para la inocuidad alimentaria. Editado por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Mazatlán en Acuicultura y Manejo Ambiental y el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, SAGARPA. Mazatlán, Sinaloa, México.

García CJB, Arvizu LBA y López SR. (2015): Inspección zoosanitaria de alimentos marinos para el consumo turísticos. 1ª ed., Universidad Tecnocientífica del Pacífico. Tepic, Nayarit, México.

García MD, Gallego AI, Espinoza OA, García MA y Arriaga JCM. (2013): Desarrollo de la producción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en el centro de México. Revista AquaTIC, 38: 46-56.

García MJA, Núñez GFA, Chacón PO, Alfaro RRH y Espinosa HMR. (2004): Calidad de canal y carne de trucha arco iris, *Oncorhynchus mykiss* Richardson, producida al noreste del Estado de Chihuahua. Revista Hidrobiológica, 14: 19-26.

García MJA, Núñez GFA, Espino RGJ, Alarcón RAD, Rentería MAL, Chávez MC y Espinosa HMR. (2008): Características organolépticas de productos elaborados con carne de trucha Arco Iris *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). Tecnociencia Chihuahua, 2: 156-165.

García MJA, Rentería ML, Nuñez GA, Jiménez CJA y Espinosa HMR. (2006): Calidad de canal y carne de tres variedades de tucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Hidrobiológica*, 16: 11-22.

Garrido MD y Bañón S. (2000): Determinación instrumental de la calidad de la carne. Medida del pH. En: Metodología para el estudio de la calidad de la canal y de la carne en rumiantes. Coords. V. Cañeque y C. Sañudo. Monografías INIA: Ganadera N°1.

Giese J. (1995): Vitamins and mineral fortification of foods. *Food Technology*, 49: 110–122.

Gil HA. (2010): Pescados y Mariscos. En: Tratado de Nutrición. Tomo 2. Composición y Calidad Nutritiva de los alimentos. Editorial Panamericana.

Gilabert E. (1992): Medida del color. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia

Glitsch K. (1997): Consumer behaviour towards meat in the EU: A preliminary Statistical Analysis. In Proc. 4 th Meeting of EU Project Partners, The National Food Centre, Dublin, 6-8 June.

Gonzalez VMA. (2012): Efecto del sistema de crianza (tradicional vs confinamiento) y sexo en cerdos criollos sobre la característica de la carne. Tesis de maestría. Facultad de veterinaria, Universidad de Córdoba. Córdoba, España.

Goodband R. (2002): Functional properties of Fish proteins. *Seafood: Quality. Technology and nutraestructural applications*. Alasalvar C. and Taylor T (eds). Springer, Berlin, Alemania.

Guerrero L. (1993): La textura de los alimentos. Medidas sensoriales e instrumentales. Alimentos, Equipos y Tecnología, Diciembre. 2: 45-48.

Guerrero L, Font M y Oliver MA. (1997): Valoración instrumental de la ternera en *Longissimus dorsi* de ternera. ITEA vol. extra 16: 597-599.

Guerrero L y Guàrdia MD. (1999a): Evaluación de la ternera de la carne de ternera: relación entre las medidas sensorial e instrumental según la dirección de las fibras musculares. ITEA 20: 11-13.

Guerrero L y Guàrdia MD. (1999b): La medida de las propiedades mecánicas en la carne y en los derivados cárnicos. Eurocarne 77 (junio), 41-49 pp.

Guillaume J. (1991): Avances en nutrición y alimentación de salmonidéos. En: 1ª jornada sobre nutrición y alimentación de peces. Puerto Montt, Chile.

Halver JE. (1988): Fish nutrition. 2ª Ed. Academic Press. New York and London.

Hall GM y Ahmad NH. (2001): Productos del surimi y pescado picado. En: Tecnología del procesado del pescado. Hall GM (ed). Editorial Acribia. Zaragoza, España.

Hamm R. (1986): Functional properties of the myofibrillar system and their measurements. En: Muscle as food. (Bechtel, P.J.), Academic Press, Orlando. 135-199 pp.

Hard NF. (1999): Valor nutritivo y composición de las proteínas y otros compuestos nitrogenados del pescado. En: El pescado y los productos derivados de la pesca.

Composición, propiedades nutritivas y estabilidad. Ruider A. (ed). Editorial Acribia. Zaragoza, España.

Hatae K, Tobimatsu A, Takeyama M y Matsumoto J. (1986): Contribution of Connective Tissues on the Texture Difference of Various Fish Species. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 52: 2001-2007.

Hernández BJ, Aquino LJL y Ríos RFG. (2013): Efecto del manejo pre-mortem en la calidad de la carne. Nacameh, 7: 41-64.

Hildrum KI, Nilsen BN, Mielnik M y Naes T. (1994): Prediction of sensory characteristics of beef by Near-Infrared Spectroscopy. Meat Science, 38: 67-80.

Hong KN y Storebakken T. (1991): Color Stability of Rainbow trout Fillets During Frozen Storage. Journal of Food Science, 56: 969-984.

Hönikel KO. (1998): Reference Methods for the assessment of physical characteristics of meat. Meat Science, 49: 447-457.

Hönikel KO, Roncales P y Hamm R. (1983): The influence of temperature on shortening and rigor onset in beef muscle. Meat Science, 8: 221-241.

Hönikel KO, Kim CJ, Hamm R y Roncales P. (1986): Sarcomere shortening of pre-rigor muscles and its influence on drip loss. Meat Science, 16: 267-282.

Hoseini SM, Yousefi M, Rajabiesterabadi H y Paktinat M. (2013): Effect of short-term (0–72 h) fasting on serum biochemical characteristics in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Journal of Applied Ichthyology, 30: 569-573.

Hui YH, Nip W y Rogers R. (2001): Meat science and applications. 1a ed. Marcel Dekker Inc. New York, USA.

Hunt KH. (1991): Consumer satisfaction, dissatisfaction, and complaining behavior. Journal of Social Issues, 47: 107-117.

ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods). (1985): *Ecología Microbiana de los Alimentos 2*. Productos alimenticios. Editorial Acribia, España, 215 pp.

IFT (Institute of Food Technologists). (1981): Sensory evaluation guide for testing food and beverage products. Food Technology, 35: 50-59.

Ishihara S. (1971): Test for Colour Blindness. Kyoto: Kanahara Shuppan

Izquierdo P, Torres G, González E, Barboza Y y Márquez E. (1999): Características fisicoquímicas de la carne de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) Revista Científica, FCV-LUZ. IX: 27-32.

Jay J. (1994): Microbiología Moderna de los Alimentos. 3a Edición. Editorial Acribia, España, 479 pp.

Johnston IA y Moon TW. (1981): Fine structure and metabolism of multiply innervated fast muscle fibres in teleost fish. Cell and Tissue Research, 219: 93-109.

Kang JO, Kim SH, Kim IH, Kim CJ, Joo ST y Sakata R. (1998): Study on the indicators of beef quality in Korea. 44th International Congress of Meat Science and Technology. 888-889 pp.

Kauffman RG y Marsh BB. (1994): Características de calidad del músculo como alimento. En: Ciencia de la carne y de los productos cárnicos. Price JF, Schweigert BS (eds). Editorial Acribia, Zaragoza.

Kaushik SJ, Cravedi JP, Lalles JP, Sumpter J, Fauconneau B y Laroche M. (1995): Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout. *Aquaculture*, 133: 257-274.

Kilarski W y Kozłowska M. (1985): Histochemical and electromicroscopical analysis of muscle fiber in myotomes of teleost fish (*Noemacheilus barbatus*, L.). *Gegenbaurs Morph. Jahtb*, 1: 55-72.

Kilarski W y Kozłowska M. (1987): Comparison of ultrastructural and morphometrical analysis of tonic, white and red muscle fibers in the myotome of teleost fish (*Noemacheilus barbatus*, L.). *Z. Mikr. Anat*, 101: 636-648.

Kilarski W, Kozłowska M y Martynova MG. (1992): The ultrastructure of myotomal muscles of the golomianka, *Comephorus baikalensis*, Pallas. *Journal of Fish Biology*, 40:489-495.

Kubitza F. (1999): Calidad de Pescado. Panorama de Aqüicultura. Brasil [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar) (04-Abril-2017).

Kubota S, Sata K, Ohstuki K y Kawabata M. (1996): Degradation de  $\alpha$ - Connectin in Raw Fish Muscle and Softening Evaluated by Breaking Strength Occur Independently During one Chilled Storage. *Fisheries Science*, 3: 600-602.

Ladrat C, Verrez-Bagnis V, Noël J y Fleurence J. (2003): In vitro Proteolysis of Myofibrillar and Sarcoplasmic Proteins of White Muscle of Sea Bass (*Dicentrarchus labrax* L.): Effects of Cathepsins B, D and L. *Food Chemistry*, 81:517-525.

Lakshmanan, Piggott RJR y Paterson A. (2003): Potential applications of high pressure for improvement in salmon quality. *Trends in food science and technology*, 14: 354–363.

Lambooij E, Van de Vis JW, Kloosterboer RJ y Oietersen C. (2002): Welfare aspects of live chilling and freezing of farmed eel (*Anguilla anguilla* L.); neurological and behavioral assessment. *Aquaculture*, 210: 159-169.

Land DG y Shepherd R. (1988): Scaling and Ranking Methods. En: *Sensory Analysis of Foods* Piggott JR. (ed), Elsevier Applied Science, London, 155-185 pp.

Larmond E. (1977): *Laboratory Methods for Sensory Evaluation of Foods*. Research Branch, Canada Department of Agriculture, Publication. No.1637, 77 pp.

Larrañaga I, Carballo J, Rodriguez MA y Hernandez J. (2001): Características y alteraciones de pescados, mariscos y derivados. En: *Control e Higiene de los alimentos*. McGraw-Hill Interamericana de España. España.

Lawless HT. (1989): Logarithmic transformation of magnitude estimation data and comparisons of scaling methods. *Journal of Sensory Studies*, 4: 75-86.

Lawless HT y Malone JG. (1986a): The discriminative efficiency of common scaling methods. *Journal of Sensory Studies*, 1: 85-96.

Lawless HT y Malone JG. (1986b): A comparison of scaling methods: sensitivity, replicates and relative measurement. *Journal of Sensory Studies*, 1: 155-174.

Lawrie RA. (1981): Nutrient variability due to species and production practices. *Meat in Nutrition and Health; An International Symposium*, K.R. Franklin y P.N. Davis (eds.) National Livestock and Meat Board. Chicago.

Lawrie RA. (1998): *Glucólisis post mortem*. *Ciencia de la carne*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza. España. 77-79 pp.

Layler FK, Bardach JE, Miller RR y May PDR. (1984): *Anatomía básica de los peces*. En: *Ictiología*. 1a Ed. AGT Editor S.A. D.F., México. 51-99 pp.

Lee CM y Patel KM. (1984): Analysis of juiciness of commercial frankfurters. *Journal of Text Studies*. 15: 67-73

Lepetit J y Salé P. (1985): Analysis of the rheological behaviour of meat by a sinusoidal compressive device. *Science des Aliments*, 5: 521-540.

Lepetit J y Culioli J. (1994): Mechanical properties of meat. *Meat Science*, 36: 203-237.

Li KY y Torres JA. (1993): Microbial growth estimation in liquid media exposed to temperature fluctuations. *Journal of Food Science*, 58: 644-648.

López-Albors O, Gil F, Ramírez Zarzosa G, Vázquez JM, Latorre A, García Alcázar A, Arenciba A y Moreno F. (1998): Muscle development in gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) and sea bass (*Dicentrarchus labraz* L.): further histochemical and

ultrastructural aspects. Anatomia, Histología, Embryología: Journal of Veterinary Medicine Series, World Association of Veterinary Anatomist, 27: 223-229.

López J, Vásquez L, Torrent F y Villarroel M. (2013): Short-term fasting and welfare prior to slaughter in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture, 400: 142-147.

López J, Torrent F y Villarroel M. (2014): Fasting up to 34 °C days in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, has little effect on flesh quality. Aquaculture, 420: 63-70.

Love M, Haq M y Smith I. (1972): The connective tissues of fish V. Gaping in cod of different sizes as influenced by a seasonal variation in the ultimate pH. Journal of Food Technology, 7: 281–290.

Mariezcurrena BMA. (2010): Manipulación del metabolismo de los cerdos para mejorar la eficiencia de producción, la calidad de la carne. Factores nutricionales que afectan la calidad de carne de cerdo. Tesis de doctorado, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.

Mariezcurrena MA, Braña D, Partida JA, Ramírez E y Domínguez I. (2010): Estandarización de la metodología para la determinación de grasa en la carne de cerdo. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 1: 269-275.

Mas AB. (1988): La salmonización de las truchas. Hojas divulgadoras. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación (ed).

Mascarello F, Romanello MG y Scapolo PA. (1986): Histochemical and immunohistochemical profile of pink muscle fibres in some teleosts. *Journal of Histochemistry and Cytochemistry*, 84:251-255.

Meilgaard M, Civille GV y Carr BT. (1999): *Sensory evaluation techniques*. 3rd ed., CRC Press, Boca Raton, Florida.

Ministerio de Agricultura. (2010): *Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la trucha arcoíris en el departamento de Antioquia*.

[http://www.minagricultura.gov.co/archivos/cadena\\_productiva\\_trucha\\_arcoiris\[1\].pdf](http://www.minagricultura.gov.co/archivos/cadena_productiva_trucha_arcoiris[1].pdf) (23-Abril-2016).

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina. (2011): *Protocolo de calidad para trucha arco iris congelada*  
[http://www.agroindustria.gov.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/archivos//120704\\_Protocolo%20Trucha%20Arco%20Iris%20congelada.pdf](http://www.agroindustria.gov.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/archivos//120704_Protocolo%20Trucha%20Arco%20Iris%20congelada.pdf) (15-Marzo-2017).

Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino (2010): *Trucha Arco Iris*. JACUMAR (Junta nacional asesora de cultivos marinos)  
<http://www.mapama.gob.es/app/jacumar/especies/Documentos/Trucha.pdf> (04-Abril-2017).

Ministerio de la Producción Perú. (2011): *Estudio sobre la acuicultura de la trucha a nivel mundial*. Perú  
[http://www.racua.org/uploads/media/55\\_ORIG\\_estudio\\_desenv\\_trucha\\_2010.pdf](http://www.racua.org/uploads/media/55_ORIG_estudio_desenv_trucha_2010.pdf) (23-Abril-2016).

Mochizuki S y Sato A. (1996): Effects of Various Killing Procedures on Post mortem Changes in the Muscle of Horse Mackerel. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 64:276-279.

Morales V y Morales R. (2005): Síntesis regional del desarrollo de la acuicultura 1. América latina y el Caribe 2005. FAO United Nations. Rome, Italy.

Moreiras O, Carbajal A, Cabrera L y Cuadrado C. (2013): Tablas de composición de alimentos. Guía de prácticas. 16ª ed. Editorial Pirámide. Madrid.

Mosse PRL y Hudson TCL. (1977): The functional roles of different muscle fiber types identified in the myotomes of marine teleost: a behavioural, anatomical and histochemical study. Journal of Fish Biology, 1: 417-430.

Muller H y Tobin G. (1986): Nutrición y Ciencia de los Alimentos. Editorial Acribia, España, 321 pp.

Murray AC. (1989): Factors affecting beef colour at time of grading. Can. Journal of Animal Science, 69: 347-355.

NACA/FAO (Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific) (Food and Agriculture Organization). (2001): Technical Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium. En: Aquaculture in the Third Millennium. Subasinghe RP, Bueno P, Phillips MJ, Hough C, McGladdery CE, Arthur JR(eds.). Bangkok, Thailand [http://www.fao.org/DOCREP/003/AB412 E/AB412E00.HTM](http://www.fao.org/DOCREP/003/AB412E/AB412E00.HTM) (25-Abril-2016).

NRC (National Research Council). (2001): Nutrient requirements of dairy cattle. 7<sup>th</sup> rev. Editorial National Academy of Sciences. Washington, DC.

Nielsen S. (2010): Food analysis laboratory manual. 4 ed. New York, USA: Springer.

Oka H, Ohno K y Ninomuya J. (1990): Changes in Texture During Cold Storage of Cultured Yellowtail Meat Prepared by Different Killing Methods. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 56:1673-1678.

Onega PME. (2003): Evaluación de la calidad de carnes frescas: aplicación de técnicas analíticas, instrumentales y sensoriales. Tesis de doctorado. Facultad de Veterinaria, Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España.

Orellana LH. (2008): Diseño y desarrollo de un algoritmo que permita estimar el tamaño de peces, aplicando vision por computadora, y propuesta para realizar la selección adecuada de dichos peces. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú

Ortiz VJ. (2015): Inhibición de la alteración lipídica durante la conservación de salmónidos comerciales mediante la aplicación de diferentes sistemas preservantes. Tesis de doctorado, Facultad de Farmacia, Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela, España.

Ouali A. (1991): Conséquences des traitements technologiques sur la qualité de la viande. INRA. Production des Animaux, 4: 195-208.

Pagès J y Husson F. (2001): Inter-laboratory comparison of sensory profiles: methodology and results. Food Quality and Preference, 12: 297-309.

Parrado SYA (2012): Historia de la Acuicultura en Colombia. Revista AquaTIC, 37: 60-77.

Patterson RLS. (1975): The flavour of meat. En: Meat. Cole DJA and Lawrie RA (eds). Butterworths, London.

Pérez-Alvarez JA. (1996): Contribución al estudio objetivo del color en productos cárnicos curados. Tesis doctoral., Valencia. Universidad politécnica de Valencia.

Pérez-Alvarez JA, Fernández-López J, Sayas-Barberá ME y Cartagena GR. (1998): Caracterización de los parámetros de color de diferentes materias primas usadas en la industria cárnica. Eurocarne, Enero-Febrero, 63: 115-122.

Pérez-Alvarez JA y Fernández-López J. (2000): Aspectos físicos, fisiológicos, psicológicos, químicos e instrumentales para la determinación del color en los alimentos. Alicante, Spain: Universidad Miguel Hernández.

Piggot GM y Tucker BW. (1990): Seafood: Effects of technology on nutrition. Marcel Dekker. New York. 32-65 pp.

Poli BM, Parisi G, Scappini F y Zampacavallo G. (2005): Fish welfare and quality as affected by preslaughter and slaughter management. Aquaculture International, 13: 29-49.

Pomeranz Y y Meloan CE. (1994): Food Analysis: Theory and Practice. Chapman y Hall, New York.

Prieto C. (1998): Características de Calidad de la Carne de Trucha Arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) de Tres Granjas Piscícolas del Estado de Chihuahua. Programa Especial de Investigación. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua. México. 31 pp.

Ramírez-Zarzosa G. (1992): Estudio de la musculatura lateral de la lubina (*Dicentrarchus labrax*, L.) y de la dorada (*Sparus aurata*, L.) durante el desarrollo larvario y postlarvario. Tesis doctoral. Universidad de Murcia. España.

Ramírez-Zarzosa G, Gil F, Vázquez JM, Arencibia A, Latorre R, López Albors O, Ortega A y Moreno F. (1998): The post-larval development of lateral musculature en gilthead sea bream *Sparus aurata* (L.) and sea bass *Dicentrarchus labrax* (L.). *Anatomia, Histología, Embryologia: Journal of Veterinary Medicine Series*, World Association of Veterinary Anatomist, 27: 21-29.

Robb DHF y Kestin SC. (2002): Methods used to kill fish: field observation and literature reviewed. *Animal Welfare*, 11: 269-282.

Rodríguez M. y González S. (1984): Tecnología de los productos marinos. Ed. Pueblo y Educación. Cuba.

Ros BG y Martínez GC. (2010): Calidad y composición nutritiva de la carne, el pescado y el marisco. En: Tratado de nutrición. Gil HA. (ed). 111-145 pp.

Rowlerson A, Mascarello A, Radaelli G y Veggetti A. (1995): Differentiation and growth of muscle in the fish *Sparus aurata* (L.) II. Hyperplastic and hypertrophic growth of lateral muscle from hatching to adult. *Journal of Muscle Research and Cell Motility*, 16: 223-236.

Rutledge KP y Hudson JM. (1990): Sensory evaluation: Method for establishing and training a descriptive flavor analysis panel. *Food Technology*, 44: 78-84

SAGARPA. (1998): Anuario Estadístico de Pesca. D.F., México.

SAGARPA. (2008): Anuario Estadístico de Pesca. D.F., México.

SAGARPA. (2011): Anuario Estadístico de Pesca. D.F., México.

SAGARPA. (2013): Carta nacional acuícola 9 de septiembre de 2013. [www.inapesca.gob.mx/.../2013/09092013 CARTA NACIONAL ACUICOLA.doc](http://www.inapesca.gob.mx/.../2013/09092013_CARTA_NACIONAL_ACUICOLA.doc) (29 Agosto 2017).

Sánchez CJA. (2013): Producción y comercialización de truchas para el Mercado de Ibarra. Universidad técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.

Sánchez-Zapata E y Pérez-Alvarez JA. (2007): El color en distintas especies de pescado: Caracterización objetiva. Alimentación, Equipos y Tecnología, 219: 39-43.

Sänger A, Kim SX y Adam S. (1990): The fine structure of muscle fibres of roach, *Rutilus rutilus* (L.) and chub *Leucistus cephalus* (L.), *Cyprinidae*, Teleostei: interspecific differences and effects of hábitat and season. Journal of Fish Biology, 36: 205-213.

Sañudo C. (1992): La calidad organoléptica de la carne con especial referencia a la especie ovina: factores que la determinan, métodos de medida y causas de variación. Curso Internacional de Producción Ovina. SIA, Zaragoza.

Sañudo C, Olleta JL, Campo MM, Alfonso M y Panea B. (2000): Determinación instrumental de la calidad de la carne. Propuesta de muestreo. En: Metodología para el estudio de la calidad de la canal y de la carne en rumiantes. Coords. V. Cañeque y C. Sañudo. Monografías INIA: Ganadera N°1.

Sato K, Yoshimaka R, Sato M y Shimizu Y. (1986): Collagen Content in the Muscle of Fishes in Association with their Swimming Movement and Meat Texture. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 52: 1595-1600.

Sayas ME. (1997): Contribuciones al proceso tecnológico de elaboración del jamón curado: aspectos físicos, fisicoquímicos y ultraestructurales en los procesos de curado tradicional y rápido. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.

Sayas BE, Fernández LJ y Pérez AJA. (2009): Anatomía y ultraestructura del pescado. En: Tecnología de productos de origen acuático. Guerrero LI, Romini MA. y Armenta R (eds). 1a Ed. Limusa Willey. Madrid. 57-73 pp.

Scapolo PA, Veggetti A, Mascarello F y Romanello MG. (1998): Developmental transitions of myosin isoforms and organization of the lateral muscle in the teleost *Dicentrarchus labrax* (L.). Anatomy and Embryology RG Journal, 178: 287-295.

Seideman SC, Cross HR y Crouse JD. (1989): Variation in the sensory properties of beef as affected by sex, condition, muscle and *post mortem* ageing. Journal of Food Quality, 12: 39-58.

Shawyer M y Medina AF. (2005): El uso de hielo en pequeñas embarcaciones de pesca. FAO Documento Técnico de Pesca. N°436. Roma, FAO. 120 pp.

Shigemura Y, Ando M, Tsukamasa Y, Makinodan Y y Kawai T. (2003): Correlation of Type V Collagen Content with Post mortem Softening of Fish Meat During Chilled Storage. Fisheries Science, 69: 842-848.

Shindo K, Tsuchiya T y Matsumoto JJ. (1986): Histological study on white and dark muscles of various fishes. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 52: 1377-1399.

Sistema Producto Trucha Nacional. (2009): IX Foro de Expectativas del Sector agroalimentario y pesquero. México.

Skonberg DI, Hardy RW, Barrows FT y Dong FM. (1998): Color and flavor analyses of fillets from farm-raised rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed low-phosphorus feeds containing corn or wheat gluten. Aquaculture, 166: 269-277.

Stewart KM. (1994): Early hominid utilization of fish resources and implications for seasonality and behaviour. Journal of Human Evolution, 27: 229-245.

Stone H y Sidel JL. (1993): Sensory Evaluation Practices. 2nd Edition. Academic Press, Inc. San Diego, USA.

Swatland HJ. (1991): Estructura y desarrollo de los animals de abasto. Editorial Acribia. Zaragoza. 398-457 pp.

Tornberg E, Fjelkner-Modig S, Ruderus H, Glantz PO, Randow K y Stafford D. (1985): Clinically recorded masticatory patterns as related to the sensory evaluation of meat and meat products. Journal of Food Science, 50: 1059-1066.

Torre OGM. (2013): Obtención de colágeno y su efecto como capa protectora edible utilizando nisina como preservante en productos carnicos y quesos. Tesis de licenciatura. Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

Toussaint-Samat M. (1992): A History of Food. Blackwell. EEUU.

Umaña E. (2012). Conservación de alimentos por frío. El Salvador: FIAGRO y FUSADES PROINNOVA.

Urch M. (1993): Pescado y productos del pescado. En: Manual de Industria de los Alimentos. 2a Edición. Editorial Acribia, España, 120 pp.

Valls CN, Sousa MN, Obaya FA y Tardío NM. (1998): Aturdimiento y sacrificio. <https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/1999/80170/aturdimientoysacrificio.pdf> (18-Mayo-2017).

Van Oeckel MJ, Warnants N y Boucqué ChW. (1999): Pork tenderness estimation by taste panel, Warner-Bratzler shear force and on-line methods. Meat Science, 53: 259-267.

Vâradi L. (2001): Review of trends in the development of European inland aquaculture linkages with fisheries. Fisheries Management and Ecology, 8: 453-462.

Veggetti A, Mascarello F, Scapolo PA y Rowlerson A. (1990): Hyperplastic and hypertrophic growth of lateral muscle in *Dicentrarchus labrax* (L.): An structural and morphometric study. Anatomy and Embryology RG Journal, 182: 1-10.

Venugopal V y Shahidi F. (1996): Structure and composition of Fish muscle. Food reviews international, 12: 175-197.

Vergara M. (2003): La acuicultura en Chile. Comercialización. Especies de cultivo en Chile. Santiago, Chile.

Vergara HCC. (2007): Estudio, aplicación y evaluación de una técnica metodológica de respuesta objetiva, para el análisis sensorial de trucha ahumada en frío. Tesis de

licenciatura. Escuela de Ingeniería en Alimentos, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.

Voisey PW. (1976): Application of instruments for measuring food texture. Rheology and Texture in Food Quality. Man JM, Voisey PW Rasper WF, Stanley DW. The AVI Publishing Co. Inc. Westport, Connecticut.

Warris P. (1995): Considerations on methods of assessing pork meat quality. En: Conferência Internacional sobre Ciência e Tecnologia de Produção de Suíno, 1. Campinas, 91-108 pp.

Watts BM, Ylimaki GL, Jeffery LE y Elias LG. (1992): Métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos. Centro Internacional de Investigaciones para el desarrollo. Ottawa. Canadá. 170 pp.

Wheeler TL, Koochmaraie M, Cundiff LW y Dikeman ME. (1994): Effects of cooking and shearing methodology on variation in Warner-Bratzler shear force values in beef. Journal of Animal Science, 72: 2325-2330.

Wittig de Penna E. (1980): Evaluación sensorial: una metodología actual para Tecnología de Alimentos. USACH. Santiago. Chile. 134 pp.