



Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 8 (1): 014-032. Enero-Junio, 2017

<https://sites.google.com/site/1rvcta>

ISSN: 2218-4384 (versión en línea)



Asociación RVCTA, 2017. RIF: J-29910863-4. Depósito Legal: ppi201002CA3536.

Comunicación

## **Efecto del 100 % de CO<sub>2</sub> en la textura de rebanadas de lomo de atún rojo (*Thunnus* sp.) almacenadas en congelación**

Effect of 100 % CO<sub>2</sub> on the slices' loin red tuna (*Thunnus* sp.) texture in frozen storage

Myrna Luisa **Medina Bracamonte**<sup>1\*</sup>, María Andreína **Guerra Hidalgo**<sup>2</sup>, Marinela **Barrero**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA), Facultad de Ciencias, UCV.

<sup>2</sup>Departamento de Tecnología de Alimentos, Escuela de Biología, UCV.

Universidad Central de Venezuela (UCV), Apartado Postal 47114, Caracas, 1041A, República Bolivariana de Venezuela.

\*Autora para correspondencia: [myrna.medina@ciens.ucv.ve](mailto:myrna.medina@ciens.ucv.ve)

Aceptado 13-Mayo-2017

### **Resumen**

El lomo de atún rojo se comercializa congelado, proceso que favorece su endurecimiento y más durante el almacenamiento. El Empacado en Atmósfera Modificada es una alternativa para incrementar la vida útil de productos alimenticios en el almacenamiento a bajas temperaturas. Se ha recomendado la atmósfera de 100 % de CO<sub>2</sub> para el lomo atún almacenado en refrigeración, sin embargo se busca una vida útil de meses para su comercialización. Por ello se planteó evaluar el efecto de la atmósfera de 100 % de CO<sub>2</sub> sobre la textura de rebanadas de lomo de atún rojo, congeladas, durante su almacenamiento a -10 y -18 °C. Las rebanadas individuales de lomo de atún rojo procesadas según Medina-Bracamonte *et al.* (2014) se empacaron en atmósfera de 100 % de CO<sub>2</sub>. Se aplicó un Análisis del Perfil de Textura a 0, 15, 30, 54 y 111 días de almacenamiento a cubos de 1 cm<sup>3</sup> de las rebanadas, descongeladas y a temperatura ambiental, con un analizador de textura con un émbolo de 75 mm de diámetro, previamente calibrado con una celda de 5 kg y usando el software Texture Expert Exceed, versión 2.54. La atmósfera de 100 % de CO<sub>2</sub> a -10 °C redujo significativamente ( $p < 0,05$ ) la dureza y masticabilidad de las rebanadas de lomo de atún rojo, y a -18 °C fue el tratamiento que mostró menor incremento de la cohesividad.

**Palabras claves:** almacenamiento congelado, atmósfera modificada, atún, congelación, textura.

### Abstract

Bluefin tuna loins are sold frozen. Freezing and the frozen storage promotes tissues hardening. Modified Atmosphere Packaging is an alternative to increase food products' shelf life at low temperature storage and has aroused the concern evaluate texture stability of slices' loin red tuna fresh, frozen and packaging with CO<sub>2</sub> (100 %) to conventional temperatures to storage, distribution and sale (-10 and -18 °C). The proposed objective was to evaluate the effect of 100 % CO<sub>2</sub> on the texture of slices of loin of bluefin tuna, frozen, during storage at -10 and -18 °C. Individual slices of loin of bluefin tuna were packed in atmosphere of 100 % CO<sub>2</sub>, processed according to Medina-Bracamonte *et al.* (2014). Texture Profile Analysis at 0, 15, 30, 54 and 111 days storage was made at room temperature, in thawed cubes of 1 cm<sup>3</sup>, with a texture analyser with a piston of 75 mm in diameter, previously calibrated with a cell 5 kg and using Texture Expert Exceed software, version 2.54. The atmosphere of 100 % CO<sub>2</sub> at -10 °C significantly reduced ( $p < 0.05$ ) hardness and chewiness of slices bluefin tuna's loin, and CO<sub>2</sub> (100 %) at -18 °C (P2) was the treatment that showed lower cohesiveness.

**Key words:** freeze, frozen storage, modified atmosphere, tuna, texture.

### INTRODUCCIÓN

La estabilidad en congelación de los atributos que definen la calidad de los productos pesqueros frescos depende, además de la especie, de la temperatura y del tiempo en el almacenamiento congelado (Mackie, 1993; Huidobro *et al.*, 1998), y es la textura del músculo del pescado fresco el principal atributo sensorial que se altera durante la congelación y en el almacenamiento congelado; por ello, es la primera consideración para juzgar la calidad de un producto pesquero congelado y los procesos de conservación. La textura determina la vida útil, y por eso es el atributo más importante en la calidad de los filetes de pescado fresco (Shenouda, 1980; Santos y Regenstein, 1990; Roi *et al.*, 2012).

En gastronomía japonesa el lomo de atún rojo es muy apreciado para consumo fresco ("sashimi") y en él la textura es una cualidad importante (Mackie, 1993; Roi *et al.*, 2012), para lo cual es conservado a -40 °C (Catarci, 2003). En el atún (*Thunnus albacares*), se ha observado que el almacenamiento a -30 °C evitó la decoloración (cambio de color marrón) y la oxidación de

lípidos mejor que a -20 °C (Burgaard y Jørgensen, 2010). En Venezuela se ha popularizado el consumo crudo de lomo de atún rojo, lo que ha impulsado a la industria a buscar alternativas que permitan conservar los atributos que definen la calidad del lomo de atún crudo por el tiempo necesario para su comercialización a -20 °C, temperatura de mayor uso comercial en el país (De Berardinis *et al.*, 2012); aún así las temperaturas convencionales en la práctica industrial y comercial para conservar la calidad del alimento durante el tiempo deseado de almacenamiento, transporte y venta son -10 y -18 °C (IIF, 1990). Dingle *et al.* (1977) mencionan que se puede alcanzar -10 °C durante el transporte o en las vitrinas de exhibición.

Si bien la congelación es un proceso excelente para conservar los atributos de calidad de los productos pesqueros, después de un almacenamiento prolongado, incluso a -20 °C, ocurren alteraciones indeseables de los atributos sensoriales (Sikorski *et al.*, 1976) por la oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados y la desnaturalización de las proteínas (Owusu-Ansah y Hultin, 1986;

Mackie, 1993; Giannini *et al.*, 2001), además de la deshidratación parcial del músculo debido a la congelación y la exposición de las proteínas a las sales inorgánicas que se concentran en la fase acuosa no congelada (Sikorski *et al.*, 1976; Chang y Regenstein, 1997; Szczesniak, 1998), lo que se reflejará en la alteración de los atributos sensoriales del pescado congelado (Burgess *et al.*, 1979). En general lo que se observa es que durante el almacenamiento congelado hay pérdida de la jugosidad y aumento de la tenacidad en el músculo congelado (Szczesniak, 1998), ambos eventos indeseados en un músculo destinado al consumo fresco, como lo es el lomo de atún rojo.

En el caso de los peces gádidos (familia Gadidae), Kim y Heldman (1985) mencionan que el deterioro de la textura del músculo de bacalao congelado es significativo, sin embargo, Pérez-Villareal y Howgate (1991) encontraron en merluza europea (*Merluccius merluccius*) que a -24 y a -30 °C los cambios en la textura y en el flavor son insignificantes durante 39 semanas ( $\approx$  9 meses) de almacenamiento, pero a -18 °C la alteración es evidente a los pocos meses. Pérez-Villareal y Howgate (1991) concluyeron que la vida de anaquel, en los filetes de merluza es corta, 8 semanas (2 meses) a -15 °C en las neveras de los puntos de venta. Como la textura cambia con el tiempo de almacenamiento, Castro-Montero y de Hombre-Morgado (2007) recomiendan los ensayos texturales para determinar la vida útil. Cheng *et al.* (2014) concluyeron que medir y evaluar la textura son actividades importantes en el control de calidad y aseguramiento de la frescura de filetes y pescados, así como en el desarrollo de productos pesqueros.

El consumidor espera un músculo de pescado jugoso, y a través de la textura determina su frescura, cualidad que contribuye a definir su calidad definida en términos de ternura y jugosidad. A más ternura y jugosidad la calidad del músculo es superior; y es la

textura la principal característica que determina la aceptación (Botta, 1991; Chambers IV y Bowers, 1993; Chéret *et al.*, 2005; Roi *et al.*, 2012).

La calidad del tejido muscular está relacionada con el estado de las proteínas miofibrilares y del colágeno, y con el contenido de lípidos. Con respecto a las proteínas miofibrilares su desnaturalización y la cantidad de agua ligada a ellas son aspectos fundamentales en la textura del tejido muscular. Un tejido presenta mejor textura si sus proteínas miofibrilares y el colágeno no han perdido humedad ni se han desnaturalizado. La desnaturalización de las proteínas miofibrilares y su agregación (la miosina en particular), son 2 eventos que pueden darse en el músculo de pescado durante la congelación y durante el almacenamiento congelado, y las consecuencias son: alteración de las propiedades funcionales de las proteínas musculares, pérdida de la capacidad de retención del agua, de la solubilidad de la fracción de proteínas, de la jugosidad y, cambios no deseados en la textura del músculo; obteniéndose un producto duro, seco y fibroso (Connell, 1975; Mackie, 1993; Chang y Regenstein, 1997; Barroso *et al.*, 1998; Careche *et al.*, 2002), particularmente importante en algunas especies magras como el bacalao y la merluza causando el rechazo del consumidor (Careche *et al.*, 1998; Careche *et al.*, 2002). La calidad de la proteína influye principalmente en la tensión, y el contenido de humedad en la rigidez (Hamann y Lanier, 1987; Hatae *et al.*, 1990).

En las especies grasas el deterioro de la calidad durante el almacenamiento congelado prolongado ha sido atribuido a cambios en los lípidos (Chang y Regenstein, 1997; Haard, 1992 cp Namulema *et al.*, 1999; Careche *et al.*, 2002), específicamente su oxidación, y la formación de cristales de hielo durante el almacenamiento a -10 °C (Badii y Howell, 2002), y también a la desnaturalización de proteínas y la alteración de los tejidos en varias especies de pescados almacenadas a -18 °C,

donde los cambios fueron dependientes de las especies (Benjakul *et al.*, 2003).

Entre los factores responsables de la desnaturalización de las proteínas, además de aquellos relacionados con los cambios de humedad y de los ácidos grasos poliinsaturados en el pescado, Shenouda (1980) menciona la actividad de la enzima trimetilamina oxidasa (TMAOasa, trimetilamina óxido aldolasa, EC 4.1.2.32), la cual, si bien se encuentra en un grupo limitado de especies marinas, también puede ser de origen bacteriano; y es capaz de activar *in vivo* e *in vitro* la transformación del óxido de trimetilamina (OTMA) en dimetilamina (DMA) y formaldehído a temperaturas de congelación. Cuya máxima velocidad de conversión ocurre aproximadamente entre -5 y -10 °C (Kelleher *et al.*, 1981). El OTMA ha sido cuantificado en el atún aleta azul (*Thunnus thynnus*) (280 µM/100 g), y han observado, diferencias en su contenido entre los individuos de una misma especie, distribución desigual en el cuerpo del pez, se encuentra en menor cantidad en las vísceras que en los músculos (Hebard *et al.*, 1982), y en general es menor en el lomo que en la cola (Yamagata *et al.*, 1969). La línea lateral oscura del músculo de atunes y arenques tiene solo la mitad del OTMA de los otros músculos y en el músculo oscuro de *Thunnus albacares*, *Thunnus obesus*, *Katsuwonus pelamis*, sardina y macarela el contenido es mayor que en el músculo ordinario, donde además el contenido es variable (Hebard *et al.*, 1982).

Por lo cual, si se desea extender la vida útil de los productos pesqueros frescos en congelación, tan pronto como el pescado sale del congelador debe ser empacado, si no lo fue antes del proceso de congelación, e inmediatamente transferirlo al almacenamiento a baja temperatura. El empacado deberá limitar la desnaturalización de las proteínas, la oxidación de los lípidos y la actividad de la enzima TMAOasa. Una de las vías es reducir la actividad de las bacterias reductoras del OTMA a DMA (Liston, 1985). Por ello, el empaque

debe ofrecer barrera, al O<sub>2</sub> del aire para evitar reacciones de oxidación, y al vapor de agua para evitar pérdidas de humedad durante el almacenamiento congelado del pescado (Josephson *et al.*, 1985; Bjerkgeng y Johnsen, 1995). Además, las operaciones preliminares como la eliminación de la piel y el fileteado antes del almacenamiento en congelación promueven significativamente el deterioro oxidativo en el pescado blanco (*Coregonus clupeaformis*) mantenido a -12 °C sin empacar, pero si es manipulado apropiadamente y empacado al vacío en bolsas poliméricas de baja permeabilidad al O<sub>2</sub> el pescado congelado puede ser mantenido por tiempo prolongado con pérdida limitada de su frescura (Josephson *et al.*, 1985). El material de empaque y la operación de empacado son 2 de los factores de los cuales dependerá el período de tiempo durante el cual el pescado congelado retendrá sus atributos de calidad (Giannini *et al.*, 2001).

Dentro de las alternativas para extender la vida útil de productos pesqueros destaca el Empacado en Atmósfera Modificada (EAM), el cual combinado con el almacén a bajas temperaturas, extiende la vida de anaquel del producto refrigerado.

La extensión de la vida útil a través del EAM se atribuye principalmente al efecto bacteriostático del CO<sub>2</sub> (Devlieghere *et al.*, 1998a), para lo cual cierta cantidad del gas se disuelve dentro del producto e inhibe el crecimiento bacteriano (Gill y Penney, 1988), inhibición que se logra con atmósferas enriquecidas con 20 % o más de CO<sub>2</sub> (López-Gálvez *et al.*, 1995). La inhibición es selectiva, inhibe las poblaciones de aerobios deteriorativos Gram negativos, psicotróficos; y es proporcional a la tensión del CO<sub>2</sub> en el empaque, o a la concentración del CO<sub>2</sub> disuelto en el producto (Lannelongue *et al.*, 1982; Devlieghere *et al.*, 1998b; Ward y Baj, 1988). En algunas especies de pescado la solubilidad del CO<sub>2</sub> aumenta linealmente con la presión parcial del CO<sub>2</sub> (Sivertsvik *et al.*, 2004), como

se ha mostrado también en pasta fresca (Fava y Piergiovanni, 1992) y carne fresca (Zhao *et al.*, 1995). Al respecto, Devlieghere *et al.* (1998a) mencionan que la cantidad de CO<sub>2</sub> disuelto en la fase acuosa del producto depende de la concentración inicial de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y de la relación gas/producto. Ambas variables definen la efectividad del empaquetado diseñado en atmósfera modificada. Guedes *et al.* (2006) recomiendan una atmósfera de 100 % de CO<sub>2</sub> para conservar las rebanadas de lomo de atún (*Thunnus albacares*) en refrigeración.

Otra variable que incide en la eficiencia del EAM con atmósfera de CO<sub>2</sub> es la velocidad de difusión del gas en la fracción acuosa del tejido, la cual disminuye con el descenso de la temperatura. Si el almacenamiento es en congelación la difusión del gas en el tejido muscular disminuirá aún más, pero a -10 °C el daño celular es mayor que a -18 °C y probablemente favorezca la difusión del gas en el tejido muscular. Se plantea como hipótesis que la presencia del CO<sub>2</sub> en el tejido muscular tiene un efecto sobre la textura de las rebanadas del lomo de atún rojo, y se propuso evaluar el efecto de la atmósfera de 100 % CO<sub>2</sub> sobre la textura de las rebanadas de lomo de atún rojo (*Thunnus* sp.) congeladas, durante su almacenamiento congelado a -10 y a -18 °C durante 4 meses. Para ello se realizó un Análisis del Perfil de Textura (APT) una vez descongeladas las rebanadas de lomo de atún rojo a los 15, 30, 54 y 111 días de almacenamiento congelado.

Se dispone de métodos sensoriales y mecánicos para medir la textura en pescados. Los últimos son más objetivos, precisos y fiables, porque las variaciones, durante las mediciones, son menores. Dentro de ellos se encuentra el APT, ensayo de doble compresión, el cual a partir de una curva de fuerza-tiempo, puede ofrecer una interpretación significativa de una serie de parámetros de textura, tales como dureza, cohesividad, elasticidad, adhesividad, gomosidad o masticabilidad (Cheng *et al.*, 2014). Kim y Heldman (1985)

comentaron que el almacenamiento prolongado causa un deterioro significativo de la textura del pescado congelado descrito como un aumento de la dureza, masticabilidad, gomosidad o fibrosidad; evaluaron dureza y cohesividad, y concluyeron que el aumento de la dureza en el músculo de bacalao congelado con el tiempo de almacenamiento es el resultado de la desnaturalización de las proteínas, mientras que el descenso en la cohesividad es consecuencia de la pérdida de la capacidad de retención de agua.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se encuentra en correspondencia con otro publicado anteriormente (Medina-Bracamonte *et al.*, 2014) donde se encuentran las subsecciones Materia prima, Tratamiento de los lomos de atún, Material de empaque, Equipos y Análisis estadístico de los datos. Los tratamientos involucrados fueron los siguientes:

C1: control 1, congelado a -10 °C y empaquetado en atmósfera de aire (21 % de O<sub>2</sub> y < 1 % de CO<sub>2</sub>).

P1: proceso 1, congelado a -10 °C y empaquetado en AM (100 % CO<sub>2</sub>).

C2: control 2, congelado a -18 °C y empaquetado en atmósfera de aire (21 % de O<sub>2</sub> y < 1 % de CO<sub>2</sub>).

P2: proceso 2, congelado a -18 °C y empaquetado en AM (100 % CO<sub>2</sub>).

### Determinaciones

#### Análisis del Perfil de Textura (APT)

El análisis del perfil de textura se ejecutó a tiempo 0, 15, 30, 54 y 111 días de almacenamiento congelado y a temperatura ambiental. Se cortaron cubos de las rebanadas descongeladas de lomo de atún de aproximadamente 1 cm de arista. Se midió por doble compresión con un analizador de textura TA.XT2i (Stable Micro Systems Ltd., Surrey,

UK) equipado con un émbolo cilíndrico o plato de compresión de 75 mm de diámetro, a una distancia de 8 mm de la muestra y a una velocidad de ensayo de 1,5 mm/s hasta comprimir un 50 % de la altura de la muestra. Se calibró el equipo con una celda de carga de 5 kg utilizando el software Texture Expert Exceed, versión 2.54. Los parámetros instrumentales medidos fueron dureza, cohesividad, elasticidad y masticabilidad. La determinación se hizo por sextuplicado.

### **Análisis de Componentes Principales (ACP) para datos estandarizados**

Se aplicó un ACP considerando las variables dureza, cohesividad, elasticidad, masticabilidad, en conjunto con las variables humedad, proteínas solubles en solución salina (PSSS) y contenido de malonaldehído o ácido 2-tiobarbitúrico del trabajo de Medina-Bracamonte *et al.* (2014). Para el análisis multivariante de datos se utilizó el software Statgraphics® Centurion XVI, versión 16.1.15 (StatPoint Technologies, Inc., Warrenton, VA, USA).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Análisis del perfil de textura**

#### **Dureza**

La dureza es definida como la fuerza necesaria para alcanzar una deformación dada (Szczeniak, 1963; Borderías *et al.*, 1982), y la requerida para comprimir las piezas de lomo de atún rojo, fresco, de 1 cm de arista hasta un 50 % de su altura inicial fue 3,48 kg (Cuadro 1). En la Fig. 1 se observa el comportamiento de la dureza durante el almacenamiento en congelación de las rebanadas de lomo de atún rojo congeladas. A -18 °C la tendencia de la dureza fue a mantenerse igual a  $t = 0$  independientemente de la atmósfera gaseosa en el empaque; algo más estable en presencia de

100 % de CO<sub>2</sub> (P2). A -10 °C la dureza se mantuvo relativamente estable los primeros 30 días del almacenamiento, y a partir de allí se duplicó en atmósfera de aire (C1). Entre los factores que favorecen el endurecimiento del músculo de pescado en el almacenamiento congelado Badii y Howell (2002) mencionan la formación de los cristales de hielo y el daño celular asociado a los mismos durante el proceso de congelación. Los autores encontraron que la fuerza requerida para comprimir piezas (2 x 2,5 x 1,5 cm<sup>3</sup>) de filetes de bacalao (*Gadus morhua*) y de eglefino (*Melanogrammus aeglefinus*) es mayor a -10 °C que a -30 °C; y dentro de los factores bioquímicos se sabe que la desnaturalización de las proteínas musculares aumenta la dureza en el músculo de pescado con el tiempo de almacenamiento congelado (Kim y Heldman, 1985; Hamann y Lanier, 1987; Hatae *et al.*, 1990) alterándose su capacidad de retención de agua y la solubilidad de la fracción de proteínas lo que se refleja en la disminución de la fracción de proteínas miofibrilares extraídas, que a su vez está ligado a la agregación de las mismas (Connell, 1975; Mackie, 1993; Chang y Regenstein, 1997; Barroso *et al.*, 1998; Careche *et al.*, 2002). Del trabajo de Medina-Bracamonte *et al.* (2014) se deriva que el tratamiento en atmósfera de aire a -10 °C (C1) fue el único que inició la fase de agregación proteica a los 15 días ya que a -18 °C (C2) se mantuvo estable y la disminución de las PSSS fue más evidente a partir de los 30 días, tiempo en el que también se dio la disminución de las PSSS en los tratamientos en atmósfera de 100 % de CO<sub>2</sub> a ambas temperaturas (P1 y P2). Badii y Howell (2002) encontraron que a -10 °C los niveles de desnaturalización de las proteínas y los cambios de textura en almacenamiento eran similares en los filetes de bacalao y de eglefino (gádidos); y Valls *et al.* (2008), que la dureza de los filetes de lebranche (*Mugil liza*) congelados y empacados en atmósfera de aire, a los 5 meses del almacenamiento a -18 °C aumenta, y lo atribuyen al deterioro de las proteínas.

**Cuadro 1.-** Dureza en las rebanadas de lomo de atún rojo (*Thunnus* sp.) frescas y congeladas, empacadas y almacenadas según el tratamiento a -10 y -18 °C.

Dureza (kg)	Almacenamiento (días)				
	0	15	30	54	111
C1	3,48 ± 0,01 <sup>a</sup>	3,61 ± 0,30 <sup>a</sup>	3,31 ± 0,23 <sup>a</sup>	6,55 ± 0,03 <sup>e</sup>	6,54 ± 0,02 <sup>e</sup>
P1	3,48 ± 0,01 <sup>a</sup>	2,72 ± 0,13 <sup>c</sup>	2,37 ± 0,20 <sup>c</sup>	3,19 ± 0,17 <sup>a</sup>	2,19 ± 0,07 <sup>c</sup>
C2	3,48 ± 0,01 <sup>a</sup>	3,35 ± 0,66 <sup>a</sup>	4,53 ± 0,13 <sup>d</sup>	2,78 ± 0,11 <sup>c</sup>	2,67 ± 0,26 <sup>c</sup>
P2	3,48 ± 0,01 <sup>a</sup>	3,03 ± 0,69 <sup>b</sup>	3,38 ± 0,42 <sup>a</sup>	3,55 ± 0,10 <sup>a</sup>	2,38 ± 0,10 <sup>c</sup>

$n = 6$ , se muestra la media  $\pm$  la desviación estándar.

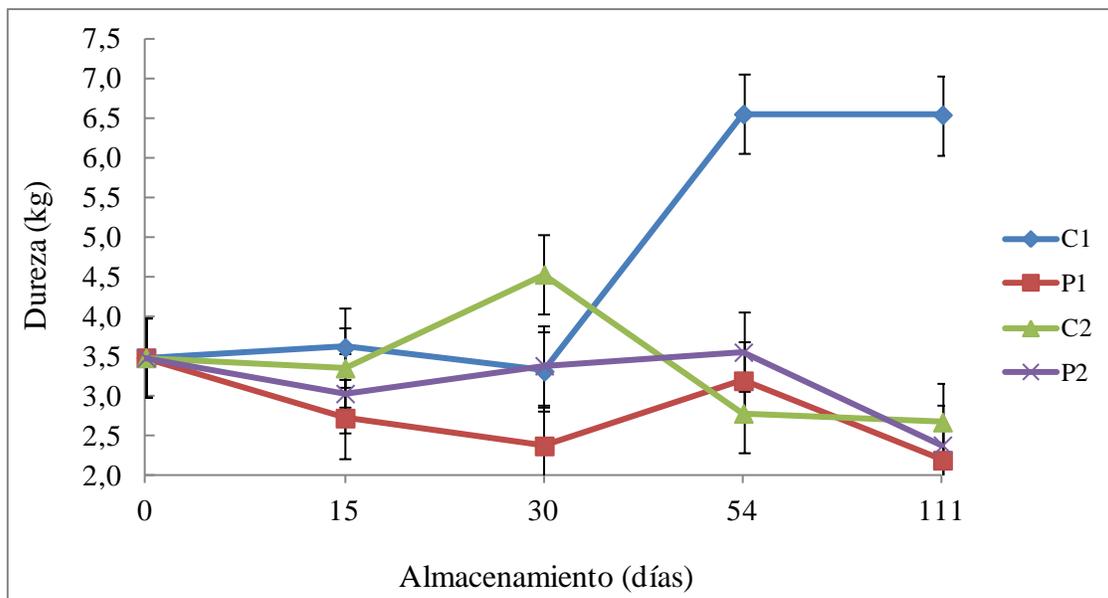
C1: control 1, congelado a -10 °C y empacado en atmósfera de aire (21 % de O<sub>2</sub> y < 1 % de CO<sub>2</sub>).

P1: proceso 1, congelado a -10 °C y empacado en AM (100 % CO<sub>2</sub>).

C2: control 2, congelado a -18 °C y empacado en atmósfera de aire (21 % de O<sub>2</sub> y < 1 % de CO<sub>2</sub>).

P2: proceso 2, congelado a -18 °C y empacado en AM (100 % CO<sub>2</sub>).

Superíndices con letras diferentes en una misma columna implica que hubo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).



$n = 6$ , se muestra la media  $\pm$  la desviación estándar.

C1: control 1, congelado a -10 °C y empacado en atmósfera de aire (21 % de O<sub>2</sub> y < 1 % de CO<sub>2</sub>).

P1: proceso 1, congelado a -10 °C y empacado en AM (100 % CO<sub>2</sub>).

C2: control 2, congelado a -18 °C y empacado en atmósfera de aire (21 % de O<sub>2</sub> y < 1 % de CO<sub>2</sub>).

P2: proceso 2, congelado a -18 °C y empacado en AM (100 % CO<sub>2</sub>).

Las barras indican la desviación estándar.

**Figura 1.-** Dureza en las rebanadas de lomo de atún rojo (*Thunnus* sp.) frescas y congeladas, empacadas y almacenadas según el tratamiento a -10 y -18 °C.

Otros eventos que conducen a la dureza del músculo de pescado en el almacenamiento en congelación son la oxidación de los lípidos (Badii y Howell, 2002) y los daños asociados con la modificación de la fracción acuosa del tejido muscular del pescado consecuencia de la formación y acreción de cristales de hielo. La formación del cristal de hielo resulta en una disrupción de los puentes de hidrógeno, que mantienen estable el sistema proteico en el medio acuoso, conduciendo a la exposición de superficies hidrofóbicas e hidrofílicas de la molécula de proteína haciéndola vulnerable a la desnaturalización; además en el almacenamiento a temperaturas inferiores a la de congelación los cristales de hielo ejercerán una presión continua sobre las ultraestructuras causando disrupción de la orientación y organización de los microorganelos porque se incrementa el volumen de un peso específico de agua. Por otra parte no toda el agua se congela, a temperaturas de congelación comunes (-10 °C a -20 °C), más del 90 % se congelará y la fase que permanece líquida persistirá aún a -70 °C, la migración del agua en estado líquido para formar los cristales de hielo resultará en un incremento de aproximadamente 10 veces la concentración de solutos solubles en la fase líquida, lo que favorecerá la competencia entre la fracción de proteínas y los iones en solución por el agua disponible, esta competencia incide sobre las fuerzas secundarias (iónicas, van der Waals, hidrógeno y fuerzas hidrofóbicas) que estabilizan las configuraciones terciarias y cuaternarias de las proteínas (Shenouda, 1980). Saeed y Howell (2002) confirmaron el efecto perjudicial de los productos de la oxidación lipídica sobre la estructura proteica (durante almacenamiento congelado) en caballa (*Scomber scombrus*), un pescado graso. En Medina-Bracamonte *et al.* (2014) se encontró que a los 30 días de almacenamiento las rebanadas de lomo de atún mantenidas a -18 °C alcanzaron valores cercanos a 8 mg de malonaldehído/kg (valor límite aceptado para consumo), mientras que los de las rebanadas

almacenadas a -10 °C lo superaron, a -10 °C también ocurrió la mayor pérdida de humedad, y fue en estas últimas rebanadas (pero en ausencia de 100 % de CO<sub>2</sub>) en las que se duplicó la dureza a partir de los 30 días de almacenamiento. La atmósfera de 100 % de CO<sub>2</sub> durante el almacenamiento a -10 °C (P1) de las rebanadas de lomo de atún rojo congeladas redujo significativamente ( $p < 0,05$ ) la dureza con respecto al control C1 y la tendencia fue disminuir a lo largo del almacenamiento con respecto a  $t = 0$  (Cuadro 1, Fig 1).

El efecto de la atmósfera de 100 % de CO<sub>2</sub> en las rebanadas almacenadas a -10 °C probablemente se explique porque al haber mayor daño celular se favorece la disolución del CO<sub>2</sub>, la formación del ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) y su posterior ionización (H<sup>+</sup> + CO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en el tejido muscular (Banks *et al.*, 1980) a pesar de la baja temperatura. De alguna manera la presencia de todas o de algunas de esas especies moleculares alteraría la [H<sup>+</sup>] y el pH del tejido muscular, mientras que a -18 °C el daño celular es menor, el CO<sub>2</sub> se absorbería en la superficie del tejido (Parkin *et al.*, 1982) más lentamente que a -10 °C, y la posibilidad de intervenir en el proceso de agregación proteica se retrasaría en el tiempo aún más que a -10 °C. Esto explicaría la mayor estabilidad de la dureza observada a -18 °C en 100 % de CO<sub>2</sub> (P2) durante los primeros 54 días de almacenamiento, y su descenso posterior.

En el tratamiento P2 (-18 °C y 100 % CO<sub>2</sub>) si bien el inicio de la agregación proteica fue a los 30 días de almacenamiento, al igual que en P1 (-10 °C y 100 % CO<sub>2</sub>), el descenso de la fracción de PSSS extraíble fue el más lento de todos los tratamientos. También se obtuvo que durante el almacenamiento congelado hubo menor pérdida de humedad a -18 °C y en presencia de la atmósfera de 100 % de CO<sub>2</sub>, mientras que la mayor pérdida de humedad se obtuvo a -10 °C independientemente de la presencia o no del CO<sub>2</sub> (Medina-Bracamonte *et al.*, 2014). P2 fue el tratamiento que mantuvo la

dureza relativamente estable durante los 111 días de almacenamiento. Estos resultados coinciden con señalamientos de otros estudios documentados por Hatae *et al.* (1990) sobre diferencias en la textura del músculo de pescado relacionadas con el contenido de humedad, entre otros parámetros.

La presencia de la atmósfera de 100 % de CO<sub>2</sub> durante el almacenamiento en congelación a -10 y a -18 °C, en rebanadas de lomo de atún rojo, congeladas, de alguna manera retardó el inicio de la agregación proteica en 15 días y además a -18 °C redujo la velocidad con la cual disminuye la fracción de PSSS extraída (Medina-Bracamonte *et al.*, 2014). Esto se vio reflejado en la estabilidad de la dureza durante el almacenamiento congelado a las 2 temperaturas (Cuadro 1, Fig. 1).

### **Cohesividad**

La cohesividad representa el punto límite hasta donde puede deformarse la muestra antes de romperse (Osorio-Tobón *et al.*, 2004). En las rebanadas de atún rojo fresco la cohesividad fue de 0,23 (Cuadro 2). A los 15 días del almacenamiento en congelación casi se duplicó para todos los tratamientos para luego continuar más lentamente con tendencia a la estabilidad (Fig. 2), y fue mayor a -10 °C que a -18 °C coincidiendo con Chapman *et al.* (1993) quienes informan del aumento de la cohesividad en filetes de caballa y de merluza blanca (*Urophycis tenuis*) a -20 y a -30 °C, y que la velocidad del incremento fue significativamente mayor a -20 que a -30 °C. Sin embargo Kim y Heldman (1985) señalan lo inverso en el músculo de bacalao congelado, donde la cohesividad descendió durante 60 días de almacenamiento a -7, -10 y -18 °C aunque no proporcionalmente con el tiempo, concluyendo que el descenso en la cohesividad es la consecuencia de la pérdida de la capacidad de retención de agua en el músculo. No hubo diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) entre la presencia o no de la atmósfera de 100 % de

CO<sub>2</sub> a los 54 días de almacenamiento congelado a ninguna de las 2 temperaturas hasta el final del almacenamiento cuando solo se observó disminución de la cohesividad en las rebanadas empacadas en atmósfera de 100 % de CO<sub>2</sub> y almacenadas a -10 °C. En general para ambas temperaturas de almacenamiento, las rebanadas de lomo de atún rojo empacadas en atmósfera de 100 % de CO<sub>2</sub> fueron las que tuvieron menor cohesividad con respecto al control correspondiente (Cuadro 2), es decir, el punto límite hasta donde puede deformarse la muestra antes de romperse fue menor en presencia del CO<sub>2</sub> para las 2 temperaturas evaluadas.

### **Elasticidad**

La elasticidad es un ensayo de relajación (Martí de Castro *et al.*, 1997), y es la propiedad de un material por la cual recupera su forma y dimensiones originales, parcial o totalmente, al cesar la acción del esfuerzo aplicado, o es la habilidad para retornar a su estado original, en cuyo caso el material es perfectamente elástico. Cuantitativamente se puede expresar en unidades de longitud como la altura que recupera el alimento durante el tiempo que transcurre entre la primera y la segunda compresión, y además mide cuánto de la estructura original del alimento se ha perdido por la compresión original (definición sensorial) (Kaletunc *et al.*, 1991; Rosenthal, 1999 cp Hleap y Velasco, 2010). O es la tasa a la cual un material deformado regresa a su condición inicial después de retirar la fuerza deformante (Szczeniak, 1973 cp Chávez-Franco *et al.*, 2000).

En el Cuadro 3 se presenta la elasticidad cuantificada en unidades de tiempo (segundos) en las rebanadas, frescas y, en las congeladas y almacenadas en congelación del lomo de atún rojo congelado. En el atún fresco se requirió de 2,15 s para recuperar la altura inicial entre la 1.<sup>a</sup> y 2.<sup>a</sup> compresión. En la Fig. 3 se observa que durante el almacenamiento congelado, el

**Cuadro 2.-** Cohesividad en las rebanadas de lomo de atún rojo (*Thunnus* sp.) frescas y congeladas, empacadas y almacenadas según el tratamiento a -10 y -18 °C.

Cohesividad (adimensional)	Almacenamiento (días)				
	0	15	30	54	111
C1	0,23 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,43 ± 0,03 <sup>c</sup>	0,48 ± 0,02 <sup>e</sup>	0,52 ± 0,04 <sup>f</sup>	0,52 ± 0,02 <sup>f</sup>
P1	0,23 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,43 ± 0,01 <sup>c</sup>	0,45 ± 0,03 <sup>c</sup>	0,51 ± 0,02 <sup>f</sup>	0,43 ± 0,01 <sup>c</sup>
C2	0,23 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,39 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,43 ± 0,03 <sup>c</sup>	0,41 ± 0,01 <sup>c</sup>	0,51 ± 0,01 <sup>f</sup>
P2	0,23 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,44 ± 0,03 <sup>c</sup>	0,35 ± 0,01 <sup>d</sup>	0,42 ± 0,02 <sup>c</sup>	0,45 ± 0,01 <sup>f</sup>

*n* = 6, se muestra la media ± la desviación estándar.

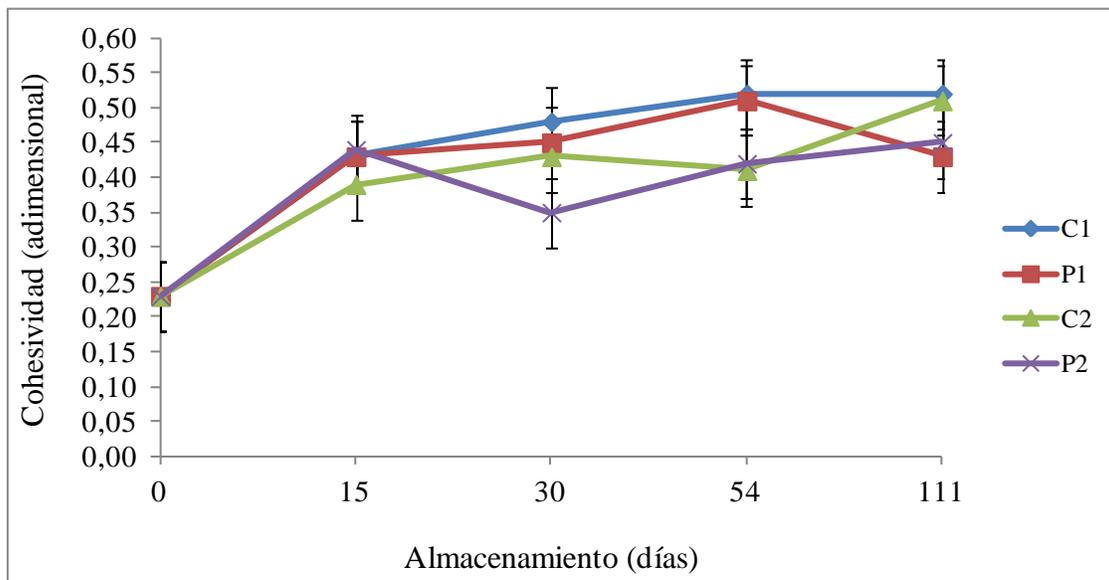
C1: control 1, congelado a -10 °C y empacado en atmósfera de aire (21 % de O<sub>2</sub> y < 1 % de CO<sub>2</sub>).

P1: proceso 1, congelado a -10 °C y empacado en AM (100 % CO<sub>2</sub>).

C2: control 2, congelado a -18 °C y empacado en atmósfera de aire (21 % de O<sub>2</sub> y < 1 % de CO<sub>2</sub>).

P2: proceso 2, congelado a -18 °C y empacado en AM (100 % CO<sub>2</sub>).

Superíndices con letras diferentes en una misma columna implica que hubo diferencias significativas (*p* < 0,05).



*n* = 6, se muestra la media ± la desviación estándar.

C1: control 1, congelado a -10 °C y empacado en atmósfera de aire (21 % de O<sub>2</sub> y < 1 % de CO<sub>2</sub>).

P1: proceso 1, congelado a -10 °C y empacado en AM (100 % CO<sub>2</sub>).

C2: control 2, congelado a -18 °C y empacado en atmósfera de aire (21 % de O<sub>2</sub> y < 1 % de CO<sub>2</sub>).

P2: proceso 2, congelado a -18 °C y empacado en AM (100 % CO<sub>2</sub>).

Las barras indican la desviación estándar.

**Figura 2.-** Cohesividad en las rebanadas de lomo de atún rojo (*Thunnus* sp.) frescas y congeladas, empacadas y almacenadas según el tratamiento a -10 y -18 °C.

**Cuadro 3.-** Elasticidad en las rebanadas de lomo de atún rojo (*Thunnus* sp.) frescas y congeladas, empacadas y almacenadas según el tratamiento a -10 y -18 °C.

Elasticidad (segundos)	Almacenamiento (días)				
	0	15	30	54	111
C1	2,15 ± 0,01 <sup>a</sup>	2,41 ± 0,04 <sup>b</sup>	2,93 ± 0,06 <sup>c</sup>	3,36 ± 0,19 <sup>e</sup>	3,88 ± 0,05 <sup>f</sup>
P1	2,15 ± 0,01 <sup>a</sup>	2,41 ± 0,03 <sup>b</sup>	3,05 ± 0,05 <sup>c</sup>	3,38 ± 0,01 <sup>e</sup>	3,27 ± 0,06 <sup>e</sup>
C2	2,15 ± 0,01 <sup>a</sup>	2,51 ± 0,21 <sup>b</sup>	2,83 ± 0,13 <sup>c</sup>	2,58 ± 0,13 <sup>b</sup>	2,80 ± 0,09 <sup>c</sup>
P2	2,15 ± 0,01 <sup>a</sup>	2,45 ± 0,29 <sup>b</sup>	2,19 ± 0,02 <sup>d</sup>	2,79 ± 0,04 <sup>c</sup>	3,16 ± 0,02 <sup>e</sup>

$n = 6$ , se muestra la media  $\pm$  la desviación estándar.

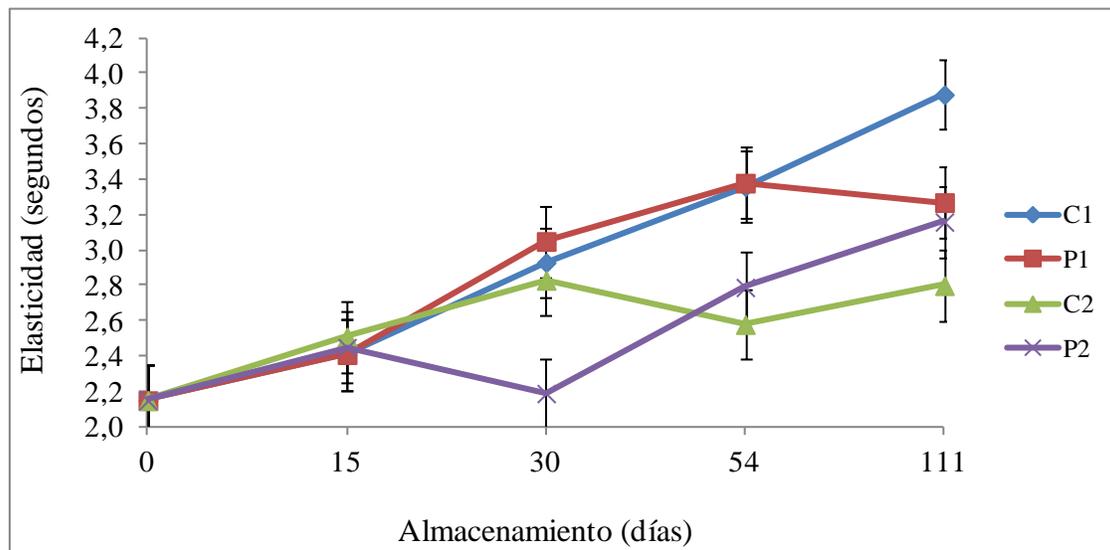
C1: control 1, congelado a -10 °C y empacado en atmósfera de aire (21 % de O<sub>2</sub> y < 1 % de CO<sub>2</sub>).

P1: proceso 1, congelado a -10 °C y empacado en AM (100 % CO<sub>2</sub>).

C2: control 2, congelado a -18 °C y empacado en atmósfera de aire (21 % de O<sub>2</sub> y < 1 % de CO<sub>2</sub>).

P2: proceso 2, congelado a -18 °C y empacado en AM (100 % CO<sub>2</sub>).

Superíndices con letras diferentes en una misma columna implica que hubo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).



$n = 6$ , se muestra la media  $\pm$  la desviación estándar.

C1: control 1, congelado a -10 °C y empacado en atmósfera de aire (21 % de O<sub>2</sub> y < 1 % de CO<sub>2</sub>).

P1: proceso 1, congelado a -10 °C y empacado en AM (100 % CO<sub>2</sub>).

C2: control 2, congelado a -18 °C y empacado en atmósfera de aire (21 % de O<sub>2</sub> y < 1 % de CO<sub>2</sub>).

P2: proceso 2, congelado a -18 °C y empacado en AM (100 % CO<sub>2</sub>).

Las barras indican la desviación estándar.

**Figura 3.-** Elasticidad en las rebanadas de lomo de atún rojo (*Thunnus* sp.) frescas y congeladas, empacadas y almacenadas según el tratamiento a -10 y -18 °C.

tiempo requerido para recuperar la altura inicial de la rebanada de atún entre la 1.<sup>a</sup> y 2.<sup>a</sup> compresión aumentó para todos los tratamientos, independientemente de la temperatura de almacenamiento y de la presencia o no de CO<sub>2</sub> en la atmósfera del empaque. Es decir, durante el almacenamiento congelado cambian las propiedades mecánicas del alimento (Castro-Montero y de Hombre-Morgado, 2007) y el producto pierde elasticidad progresivamente, porque demora más en recuperar su altura inicial. A partir de los 15 días de almacenamiento a -18 °C la pendiente de la recta es menor que a -10 °C, independientemente de la presencia o no de la atmósfera de 100 % de CO<sub>2</sub> en el empaque; lo que es de esperarse porque el daño celular ha sido menor a -18 °C. No hubo diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) a -10 °C entre la presencia de 100 % de CO<sub>2</sub> en la atmósfera del empaque y la atmósfera de aire (< 1 % de CO<sub>2</sub>), durante el almacenamiento, hasta los 111 días cuando disminuye significativamente la elasticidad en presencia del CO<sub>2</sub> (P1) con respecto a la atmósfera de aire; y a los 54 días del almacenamiento a -10 °C y en presencia de CO<sub>2</sub> el tiempo de recuperación tendió a la estabilidad, no así en atmósfera de aire. Puede ser que 54 días han sido suficientes para la disolución del CO<sub>2</sub> y la formación del ácido carbónico en el interior del músculo y de alguna manera intervino en la estabilización de las propiedades mecánicas del músculo. No hubo diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) entre los tratamientos a los 15 días de almacenamiento pero sí a los 30 días ( $p < 0,05$ ) entre el tratamiento P2 (-18 °C y atmósfera de 100 % de CO<sub>2</sub>) y los otros tratamientos (el tiempo de recuperación se aproximó al del producto fresco). A partir de los 54 días hubo diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) entre las temperaturas evaluadas, y las rebanadas que requirieron de menos tiempo para recuperar la altura inicial fueron las congeladas y almacenadas a -18 °C. Durante los 111 días de almacenamiento congelado, las muestras elásticas (aquellas que

requieren de menos tiempo para recuperar su altura inicial), fueron las almacenadas a -18 °C (C2 y P2) y destaca que P2 (en atmósfera de 100 % de CO<sub>2</sub>) fue el tratamiento que mostró en las rebanadas de lomo de atún rojo menor incremento de la cohesividad, mayor estabilidad de la dureza, y con base en los resultados en Medina-Bracamonte *et al.* (2014) mayor retención de humedad y menor velocidad en la desnaturalización y agregación de la fracción de PSSS.

Las muestras almacenadas a -10 °C demoraron más en recuperar la altura inicial, fueron las que tuvieron mayor pérdida de humedad durante el almacenamiento (Medina-Bracamonte *et al.*, 2014), las de mayor cohesividad y en el caso de C1 mayor dureza, probablemente porque hubo mayor daño celular.

### Masticabilidad

La masticabilidad representa la energía requerida para masticar un alimento sólido hasta estar listo para ser deglutido (Osorio-Tobón *et al.*, 2004). Se relaciona con los parámetros primarios: dureza, cohesividad y elasticidad (Szczesniak, 1963). En el Cuadro 4 se presentan los valores de la variable masticabilidad. En el atún rojo fresco fue de 1618,46. En la Fig. 4 se observa el comportamiento de la variable en las rebanadas de lomo de atún rojo, congeladas, durante el almacenamiento en congelación. A -18 °C no hubo diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) entre la presencia o no del CO<sub>2</sub> hasta los 54 días de almacenamiento congelado y a los 111 días la masticabilidad fue mayor en la atmósfera de CO<sub>2</sub>. A -10 °C de almacenamiento la atmósfera de 100 % de CO<sub>2</sub> (P1) redujo significativamente ( $p < 0,05$ ) la energía requerida para masticar las rebanadas de lomo de atún rojo, congeladas, con respecto al almacenamiento en atmósfera de aire (< 1% de CO<sub>2</sub>) en igualdad a lo observado a -18 °C, donde no hubo diferencia significativa ( $p >$

**Cuadro 4.-** Masticabilidad en las rebanadas de lomo de atún rojo (*Thunnus* sp.) frescas y congeladas, empacadas y almacenadas según el tratamiento a -10 y -18 °C.

Masticabilidad (adimensional)	Almacenamiento (días)				
	0	15	30	54	111
C1	1618,46 ± 91 <sup>a</sup>	2762,52 ± 176 <sup>c</sup>	4517,14 ± 274 <sup>c</sup>	7425,41 ± 230 <sup>d</sup>	13654,34 ± 294 <sup>e</sup>
P1	1618,46 ± 91 <sup>a</sup>	2801,42 ± 149 <sup>b</sup>	2175,44 ± 119 <sup>b</sup>	4384,38 ± 968 <sup>c</sup>	3687,17 ± 59 <sup>c</sup>
C2	1618,46 ± 91 <sup>a</sup>	1884,16 ± 433 <sup>ab</sup>	2808,12 ± 736 <sup>b</sup>	2846,63 ± 579 <sup>b</sup>	3002,62 ± 846 <sup>b</sup>
P2	1618,46 ± 91 <sup>a</sup>	2312,99 ± 458 <sup>b</sup>	2623,28 ± 401 <sup>b</sup>	3187,74 ± 154 <sup>b</sup>	3941,54 ± 59 <sup>c</sup>

$n = 6$ , se muestra la media  $\pm$  la desviación estándar.

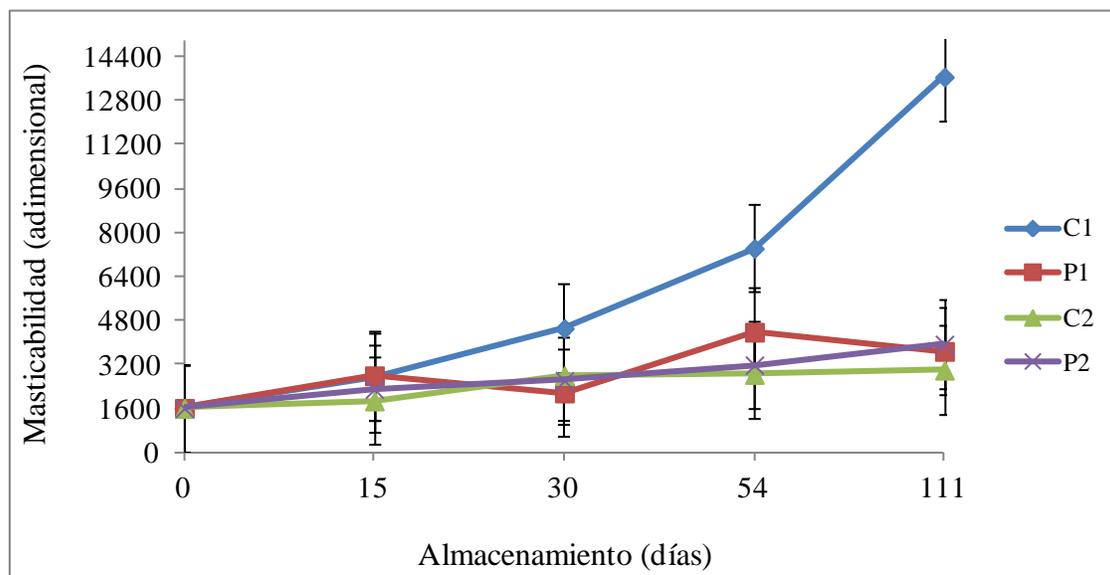
C1: control 1, congelado a -10 °C y empacado en atmósfera de aire (21 % de O<sub>2</sub> y < 1 % de CO<sub>2</sub>).

P1: proceso 1, congelado a -10 °C y empacado en AM (100 % CO<sub>2</sub>).

C2: control 2, congelado a -18 °C y empacado en atmósfera de aire (21 % de O<sub>2</sub> y < 1 % de CO<sub>2</sub>).

P2: proceso 2, congelado a -18 °C y empacado en AM (100 % CO<sub>2</sub>).

Superíndices con letras diferentes en una misma columna implica que hubo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).



$n = 6$ , se muestra la media  $\pm$  la desviación estándar.

C1: control 1, congelado a -10 °C y empacado en atmósfera de aire (21 % de O<sub>2</sub> y < 1 % de CO<sub>2</sub>).

P1: proceso 1, congelado a -10 °C y empacado en AM (100 % CO<sub>2</sub>).

C2: control 2, congelado a -18 °C y empacado en atmósfera de aire (21 % de O<sub>2</sub> y < 1 % de CO<sub>2</sub>).

P2: proceso 2, congelado a -18 °C y empacado en AM (100 % CO<sub>2</sub>).

Las barras indican la desviación estándar.

**Figura 4.-** Masticabilidad en las rebanadas de lomo de atún rojo (*Thunnus* sp.) frescas y congeladas, empacadas y almacenadas según el tratamiento a -10 y -18 °C.

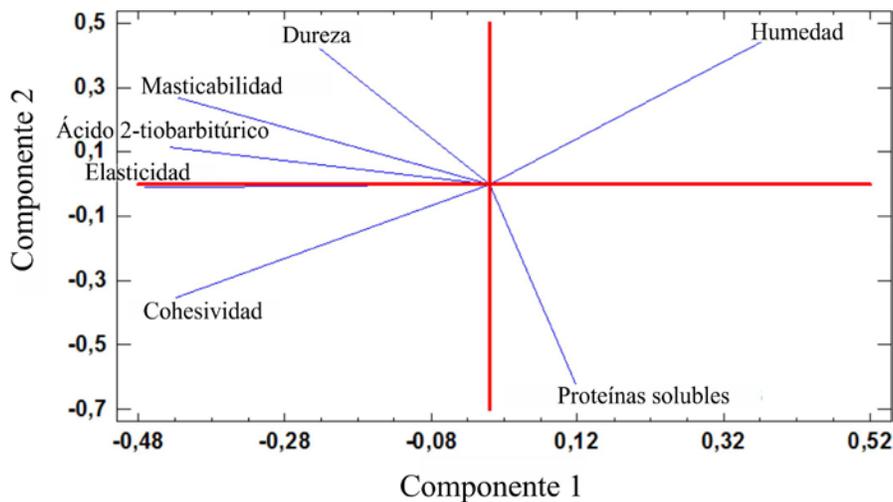
0,05) entre las atmósferas de empacado durante los primeros 54 días de almacenamiento. Es decir, la atmósfera de 100 % de CO<sub>2</sub> a -10 °C (P1) disminuyó, con respecto a la atmósfera de aire (C1), la energía requerida para masticar el tejido del lomo de atún rojo hasta un estado idóneo para deglutir (Osorio-Tobón *et al.*, 2004). Hubo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) durante los 111 días de almacenamiento entre las rebanadas de atún congeladas a -10 °C, empacadas en atmósfera de aire (C1) y los otros tratamientos (P1, C2 y P2).

**Análisis de Componentes Principales (ACP)**

En las rebanadas de lomo de atún rojo, congeladas; y almacenadas en congelación, la cohesividad (Fig. 2) se comportó inversamente a la humedad (Medina-Bracamonte *et al.*, 2014). Se aplicó un ACP considerando las variables (Fig. 5) porque todos los tratamientos habían alcanzado el límite de malonaldehído para consumo humano (8 mg/kg) al mes de almacenamiento. Se obtuvo que bajo las condiciones de trabajo descritas: a) las variables, dureza, masticabilidad, ácido 2-tiobarbitúrico y elasticidad se ubicaron en el cuadrante II del gráfico indicando estar

relacionadas positivamente entre ellas, ser independientes de la cohesividad y la humedad, ubicadas en los cuadrantes III y I respectivamente, y además tener una relación inversa con la variable PSSS, ubicada en el cuadrante IV; b) la humedad y la cohesividad están inversamente relacionadas como lo indican las rectas correspondientes diametralmente opuestas, es decir, a mayor retención de humedad menor incremento en la cohesividad.

La menor cohesividad o menor fuerza límite antes de que el tejido se rompa se obtuvo a -18 °C en atmósfera de 100 % de CO<sub>2</sub>, (tratamiento P2) y está relacionada con la menor pérdida de humedad en el almacenamiento, quizás porque a esa temperatura el daño celular es menor; y fue en el tratamiento P2 donde el proceso de desnaturalización y agregación proteica fue más lento en el tiempo (Medina-Bracamonte *et al.*, 2014). Estos resultados son contrarios a lo conseguido por Kim y Heldman (1985) en bacalao durante 60 días de almacenamiento. Por lo cual, el comportamiento de la cohesividad del músculo de pescado en el almacenamiento congelado dependería de la especie.



**Figura 5.-** Análisis de Componentes Principales.

## CONCLUSIONES

- A -10 °C, la atmósfera de 100 % de CO<sub>2</sub> redujo significativamente ( $p < 0,05$ ) la dureza y la masticabilidad de las rebanadas de lomo de atún rojo con respecto al almacenamiento en atmósfera de aire (< 1 % de CO<sub>2</sub>).
- A -18 °C, la atmósfera con 100 % de CO<sub>2</sub> mantuvo relativamente estables la dureza y la masticabilidad de las rebanadas de lomo de atún rojo durante los 111 días de almacenamiento congelado, con respecto al almacenamiento en atmósfera de aire (< 1 % de CO<sub>2</sub>). Fue el tratamiento que mostró menor incremento de la cohesividad.
- El Análisis de Componentes Principales reveló que la humedad y la cohesividad están inversamente relacionadas.

## AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen: 1) al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (CDCH-UCV) el financiamiento del proyecto de grupo N° 03-00-6503-2006, titulado “El empaque del lomo de atún aleta azul (*Thunnus* sp.) como alternativa para aumentar el tiempo de vida de almacenamiento congelado”, y 2) al Profesor Edie Montiel, Licenciado en Biología, *M. Sc.* en Estadística, Centro de Ecología Aplicada (CEA), Instituto de Zoología y Ecología Tropical (IZET), Facultad de Ciencias, UCV, por el Análisis de Componentes Principales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Badii, Farah and Howell, Nazlin K. 2002. Changes in the texture and structure of cod and haddock fillets during frozen storage. *Food Hydrocolloids*. 16(4):313-319.
- Banks, Harrell; Nickelson II, Ranzell and Finne, Gunnar. 1980. Shelf-life studies on carbon dioxide packaged finfish from The Gulf of Mexico. *Journal of Food Science*. 45(2):157-162.
- Barroso, M.; Careche M. and Borderías A.J. 1998. Quality control of frozen fish using rheological techniques. *Trends in Food Science & Technology*. 9(6):223-229.
- Benjakul, Soottawat; Visessanguan, Wonnop; Thongkaew, Chutima and Tanaka Munehiko. 2003. Comparative study on physicochemical changes of muscle proteins from some tropical fish during frozen storage. *Food Research International* 36(8):787-795.
- Bjerkeng, B. and Johnsen, G. 1995. Frozen storage quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) as affected by oxygen, illumination, and fillet pigment. *Journal of Food Science*. 60(2):284-288.
- Borderías, Antonio J.; Moral, Antonio and Tejada, Margarita. 1982. Stability of whole, filleted, and minced trout (*Salmo irideus* Gibb) during frozen storage. *Journal of Food Biochemistry*. 6(3):187-196.
- Botta, J.R. 1991. Instrument for nondestructive texture measurement of raw Atlantic cod (*Gadus morhua*) fillets. *Journal of food Science*. 56(4):962-964.
- Burggaard, Maria Garver and Jørgensen, Bo Munk. 2010. Effect of frozen storage temperature on quality-related changes in fish muscle: changes in physical, chemical and biochemical quality indicators during short- and long-term storage. Doctoral Thesis. Technical University of Denmark, Kongens Lyngby, Denmark.
- Burgess, G.H.O.; Cutting, C.L.; Lovern, J.A. y Waterman, J.J. 1979. El pescado y las industrias derivadas de la pesca. Zaragoza, España: Editorial Acribia. pp. 152-155.
- Careche, Mercedes; del Mazo, María Luisa and Fernández-Martín, Fernando. 2002. Extractability and thermal stability of

- frozen hake (*Merluccius merluccius*) fillets stored at -10 and -30 °C. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 82(15):1791-1799.
- Careche, Mercedes; del Mazo, María Luisa; Torrejón, Purificación and Tejada, Margarita. 1998. Importance of frozen storage temperature in the type aggregation of myofibrillar proteins in cod (*Gadus morhua*) fillets. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46(4):1539-1546.
- Castro-Montero, Eduardo y de Hombre-Morgado, Roger A. 2007. Parámetros mecánicos y textura de los alimentos. Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile. 148 p.
- Catarci, Camillo. 2003. El mercado mundial del atún. Sinopsis y actualidad. INFOPECA Internacional. N° 15:1-9.
- Chambers IV, Edgar and Bowers, Jane R. 1993. Consumer perception of sensory qualities in muscle foods: sensory characteristics of meat influence consumer decisions. *Food Technology*. 47(11):116-120.
- Chang, C.C. and Regenstein, J.M. 1997. Textural changes and functional properties of cod mince proteins as affected by kidney tissue and cryoprotectants. *Journal of Food Science*. 62(2):299-304.
- Chapman, Kathryn Wanderer; Sagi, Ifat, Hwang, Keum Taek and Regenstein, Joe M. 1993. Extra-cold storage of hake and mackerel fillets and mince. *Journal of Food Science*. 58(6):1208-1211.
- Chávez-Franco, Sergio H.; Vázquez-García, Enrique y Saucedo-Veloz, Crescenciano. 2000. Propiedades biomecánicas de frutos de zarzamora. *Agrociencia*. 34(3):329-335.
- Cheng, Jun Hu; Sun, Da Wen; Han, Zhong and Zeng, Xin An. 2014. Texture and structure measurements and analyses for evaluation of fish and fillet freshness quality: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 13(1):52-61.
- Chéret, Romuald; Chapleau, Nicolas; Delbarre-Ladrat, Christine; Verrez-Bagnis, Véronique and de Lamballerie, Marie. 2005. Effects of high pressure on texture and microstructure of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) fillets. *Journal of Food Science*. 70(8):E477-E483.
- Connell, Jack J. 1975. The role of formaldehyde as a protein crosslinking agent acting during the frozen storage of cod. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 26(12):1925-1929.
- De Berardinis, Romain; Medina-Bracamonte, Myrna Luisa y Barrero, Marinela. 2012. Estabilidad química, física y microbiológica de lomo de atún (*Thunnus* sp.) rebanado. Empacado, congelado y almacenado a -20 °C. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 3(2):177-201.
- Devlieghere, F.; Debevere, J. and Van Impe, J. 1998a. Concentration of carbon dioxide in the water-phase as a parameter to model the effect of a modified atmosphere on microorganisms. *International Journal of Food Microbiology*. 43(1-2):105-113.
- Devlieghere, F.; Debevere, J. and Van Impe, J. 1998b. Effect of dissolved carbon dioxide and temperature on the growth of *Lactobacillus sake* in modified atmospheres. *International Journal of Food Microbiology*. 41(3):231-238.
- Dingle, J.R.; Keith, R.A. and Lall, B. 1977. Protein instability in frozen storage induced in minced muscle of flatfishes by mixture with muscle of red hake. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*. 10(3):143-146.
- Fava, P. e Piergiovanni, L. 1992. La solubilità dell'anidride carbonica nei prodotti confezionati in atmosfera modificata. Nota II: correlazione con alcune caratteristiche chimico-fisiche e compositive. *Industrie Alimentari*. 31(5):424-430.

- Giannini, D.; Parin, M.A.; Gadaleta, L.; Carrizo, G. and Zugarramurdi, A. 2001. Influence of raw material quality on quality of iced and frozen white fish products. *Journal of Food Quality*. 24(6):527-538.
- Gill, C.O. and Penney, N. 1988. The effect of the initial gas volume to meat weight ratio on the storage life of chilled beef packaged under carbon dioxide. *Meat Science*. 22(1):53-63.
- Guedes, Wagner; Mársico, Eliane Teixeira; Silva, Pessanha Leonardo; Filho, Edivaldo Sampaio de Almeida; de Freitas, Mônica Queiroz e Mano, Sérgio. 2006. Efeito da atmosfera modificada sobre a conservação de lombo de atum (*Thunnus albacares*) embalado. *Revista Brasileira de Ciência Veterinária*. 13(2):89-93.
- Hamann, D.D. and Lanier, TC. 1987. Instrumental methods for predicting seafood sensory texture quality. In *Seafood quality determination. Proceedings of the International Symposium on Seafood Quality Determination*. November 10-14, 1986. (pp. 123-136). University of Alaska Sea Grant College Program, Anchorage, Alaska, USA.
- Hatae, Keiko; Yoshimatsu, Fujiko and Matsumoto, Juichiro J. 1990. Role of muscle fibers in contributing firmness of cooked fish. *Journal Food Science*. 55(3):693-696.
- Hebard, Chieko E.; Flick, George J. and Martin, Roy E. 1982. Occurrence and significance of trimethylamine oxide and its derivatives in fish and shellfish. In *Chemistry & biochemistry of marine food products*. (pp. 149-304). Westport, Connecticut, USA: AVI Publishing Company.
- Hleap, José Igor y Velasco, Viviana Andrea. 2010. Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis* sp). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 8(2):46-56.
- Huidobro, Almudena; Mohamed, Gamal Fouad and Tejada, Margarita. 1998. Aggregation of myofibrillar proteins in hake, sardine, and mixed minces during frozen storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46(7):2601-2608.
- IIF. 1990. Instituto Internacional del Frío. *Alimentos congelados: procesado y distribución*. Zaragoza. España: Editorial Acribia, S. A. 17-19, 37-41, 136.
- Josephson, David B.; Lindsay, Robert C. and Stubier, David A. 1985. Effect of handling and packaging on the quality of frozen whitefish. *Journal of Food Science*. 50(1):1-4.
- Kaletunc, G.; Normand, M.D.; Johnson, E.A. and Peleg, M. 1991. "Degree of elasticity". Determination in solid foods. *Journal of Food Science*. 56(4):950-953.
- Kelleher, Stephen D.; Buck, Ernest M.; Hultin, Herbert O.; Parkin, Kirk L.; Licciardello, Joseph J. and Damon, Rickard A. Jr. 1981. Chemical and physical changes in red hake blocks during frozen storage. *Journal of Food Science*. 47(1):65-70.
- Kim, Yoon J. and Heldman, Dennis R. 1985. Quantitative analysis of texture change in cod muscle during frozen storage. *Journal of Food Process Engineering*. 7(4):265-272.
- Lanelongue, M.; Hanna, M.O.; Finne, G.; Nickelson II, R. and Vanderzant, C. 1982. Storage characteristics of finfish fillets (*Archosargus probatocephalus*) packaged in modified gas atmospheres containing carbon dioxide. *Journal of Food Protection*. 45(5):440-444.
- Liston, J. 1985. Pescados, mariscos y sus productos. En *Ecología microbiana de los alimentos*. Vol. 2. Productos alimenticios. (pp. 592). International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF). Zaragoza, España: Editorial Acribia.

- López-Gálvez, Daniel; de la Hoz, Lorenzo and Ordóñez, Juan A. 1995. Effect of carbon dioxide and oxygen enriched atmospheres on microbiological and chemical changes in refrigerated tuna (*Thunnus alalunga*) steaks. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 43(2):483-490.
- Mackie, I.M. 1993. The effects of freezing on flesh proteins. *Food Reviews International*. 9(4):575-610.
- Martí de Castro, M. A.; Gómez-Guillén, M. C. and Montero, P. 1997. Influence of frozen storage on textural properties of sardine (*Sardina pilchardus*) mince gels. *Food Chemistry*. 60(1):85-93.
- Medina-Bracamonte, Myrna Luisa; Guerra-Hidalgo, María Andreína y Barrero, Marinela. 2014. Estabilidad en el almacenamiento congelado de rebanadas de lomo de atún rojo (*Thunnus sp.*) empacadas en atmósfera modificada con CO<sub>2</sub>. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 5(2):114-147.
- Namulema, A.; Muyonga J.H. and Kaaya, A.N. 1999. Quality deterioration in frozen Nile perch (*Lates niloticus*) stored at -13 and -27 °C. *Food Research International*. 32(2):151-156.
- Osorio-Tobón, Juan Felipe; Ciro-Velásquez, Héctor José y Mejía-Restrepo, Luis Guillermo. 2004. Caracterización textural y fisicoquímica del queso Edam. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*. 57(1):2269-2278.
- Owusu-Ansah, Yaw J. and Hultin, Herbert O. 1986. Chemical and physical changes in red hake fillets during frozen storage. *Journal of Food Science*. 51(6):1402-1406.
- Parkin, Kirk L.; Wells, Mary Jo and Brown, W. Duane. 1982. Modified atmosphere storage of rockfish fillets. *Journal of Food Science*. 47(1):181-184.
- Pérez-Villareal, Begoña and Howgate, P. 1991. Deterioration of European hake (*Merluccius merluccius*) during frozen storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 55(3):455-469.
- Roi, Bimol Chandra; Ando, Masashi; Itoh, Tomohiro and Tsukamasa, Yasuyuki. 2012. Structural and ultrastructural changes of full-cycle cultured Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) muscle slices during chilled storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 92(8):1755-1764.
- Saeed, Suhur and Howell, Nazlin K. 2002. Effect of lipid oxidation and frozen storage on muscle proteins of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82(5):579-586.
- Santos, E.E.M. and Regenstein, J.M. 1990. Effects of vacuum packaging, glazing, and erythorbic acid on the shelf-life of frozen white hake and mackerel. *Journal of Food Science*. 55(1):64-70.
- Shenouda, Soliman Y.K. 1980. Theories of protein denaturation during frozen storage of fish flesh. *Advances in Food Research*. 26:275-311.
- Sikorski, Zdzislaw E.; Olley, June; Kostuch, Sylwia and Olcott, Harold S. 1976. Protein changes in frozen fish. *C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 8(1):97-129.
- Sivertsvik, Morten; Rosnes, Jan Thomas and Jeksrud, Willy K. 2004. Solubility and absorption rate of carbon dioxide into non-respiring foods. Part 2: raw fish fillets. *Journal of Food Engineering*. 63(4):451-458.
- Szczesniak, Alina S. 1998. Effect of storage on texture. In *Food storage stability*. (pp. 216, 217). Boca Raton, FL, USA: CRC Press LLC.
- Szczesniak, Alina Surmacka. 1963. Classification of textural characteristics. *Journal of Food Science*. 28(4):385-389.
- Valls, Jaime E.; Xiques, Anirys T. y Escalona, Andrés. 2008). Evaluación física y química de filetes de lebranche (*Mugil*

*liza*) en almacenamiento congelado a -18 °C. Revista Científica (FCV-LUZ). XVIII(3):329-338.

Ward, Donn R. and Baj, Nina J. 1988. Factors affecting microbiological quality of seafoods. Food Technology. 42(3):85-89.

Yamagata, M.; Horimoto, K. and Nagaoka, C. 1969. Assessment of green tuna:

determining trimethylamine oxide and its distribution in tuna muscles. Journal of Food Science. 34(2):156-159.

Zhao, Yanyun; Wells, John Henry and McMillin, Kenneth W. 1995. Dynamic changes of headspace gases in CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> packaged fresh beef. Journal of Food Science. 60(3):571- 575.