

CALIDAD TECNOLÓGICA Y FRESCURA DEL ATÚN ALETA AMARILLA (*Thunnus albacares*) EMPLEADO COMO MATERIA PRIMA EN LA INDUSTRIA PROCESADORA DE MAZATLÁN, SINALOA

TECHNOLOGICAL QUALITY AND FRESHNESS OF YELLOWFIN TUNA (*Thunnus albacares*) USED AS RAW MATERIAL IN THE PROCESSING INDUSTRY OF MAZATLÁN, SINALOA

Angélica Vianey Carvajal-García^{1a}, Juan Antonio Cortés-Ruiz^{1*}, Evaristo Méndez-Gómez¹, Ana María Rivas-Montaño¹, Enrique Márquez-Ríos² y Claudia Karina Rodríguez-Ruelas¹

¹ Instituto Tecnológico de Mazatlán. Corsario 1 No. 203, Colonia Urias. C.P. 82070. Mazatlán, Sinaloa. México Teléfono 669 9838400,

² Universidad de Sonora. Blvd. Luis Encinas y Rosales S/N. C.P. 83000. Hermosillo, Sonora. México. Teléfono 662 2592207

^a Proyecto de tesis de la estudiante graduada de la Maestría en Ciencias en Pesquerías Sustentables del Instituto Tecnológico de Mazatlán, Sinaloa. México.

RESUMEN

El deterioro que presenta el atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*), desde su captura y durante su transporte marítimo, se refleja en una disminución de su calidad tecnológica como materia prima. En este estudio, se evaluó y comparó, la calidad tecnológica y frescura del atún aleta amarilla (AA) capturado y almacenado en congelación a -18°C (CC), al momento del desembarque (DD) y previo a su proceso industrial (PP). Para la frescura se determinó el índice K y para la calidad tecnológica se determinaron la solubilidad de proteínas (SP), capacidad de retención de agua (CRA) y capacidad de formación de geles (CFG). El valor K fue de $8.1 \pm 1.5\%$, $17.6 \pm 7.0\%$ y $21.9 \pm 4.5\%$ para el atún CC, DD y PP, respectivamente. Las proteínas del músculo presentaron bajos valores de solubilidad (CC, $74 \pm 7.5\%$; DD, $50 \pm 13.0\%$ y PP, $42 \pm 2.9\%$) y de CRA (CC, 2.9 ± 0.5 ; DD, 3.7 ± 0.9 y PP, 2.6 ± 0.4 g de agua retenida/g de proteína). Los geles preparados con el músculo de atún AA presentaron calidad variable (de C a AA). La calidad tecnológica baja y variable coincidió con la elevada proporción de proteínas solubles en álcali (CC, $18.1 \pm 10.9\%$; DD, $30.1 \pm 10.0\%$ y PP, $58.0 \pm 12.3\%$). La ocurrencia de cambios bioquímicos postmortem disminuyó la calidad tecnológica del atún AA, por lo que se requiere mayor control de la manipulación a bordo y de la temperatura de almacenamiento post captura.

Palabras clave: Calidad tecnológica, frescura, proteínas, atún aleta amarilla

ABSTRACT

The deterioration that yellowfin tuna *Thunnus albacares* presents from catch and during shipping, is reflected in a decrease in its technological quality as raw material. Technological quality and freshness of yellowfin (YF) tuna catch and stored frozen at -18°C (CF), at the moment of unloading (UL) and prior to the industry processing (PP) were evaluated. For freshness the K index was determined and for technological quality protein solubility, PS, water holding

capacity, WHC and gel forming ability, GFA were evaluated. K index was $8.1 \pm 1.5\%$, $17.6 \pm 7.0\%$ and $21.9 \pm 4.5\%$ for tuna CF, UL and PP respectively. Muscle proteins had low solubility values (CF, $74 \pm 7.5\%$; UL, $50 \pm 13.0\%$ and PP, $42 \pm 2.9\%$) and WHC (CF, 2.9 ± 0.5 ; UL, 3.7 ± 0.9 and PP, 2.6 ± 0.4 g water retained /g protein). Gels prepared with YF tuna muscle showed variable quality (from C to AA). Low and variable technological quality coincided with the high alkali-soluble proteins (CF, $18.1 \pm 10.9\%$; UL, $30.1 \pm 10.0\%$ and PP, $58.0 \pm 12.3\%$) proportion. Post-mortem biochemical changes decreased the technological quality of YF tuna, so greater control of board handling and the temperature of post-catch storage is required.

Keywords: Technological quality, freshness, proteins, yellowfin tuna

INTRODUCCIÓN

Actualmente son pocos los estudios enfocados a la evaluación nutricional y propiedades funcionales de materias primas alimentarias de consumo masivo, que podrían tener un gran potencial en la industria de alimentos, convirtiéndose en alternativas para coadyuvar en la búsqueda de soluciones a la seguridad alimentaria (Marrugo, 2012). Dentro este tipo de materias primas alimentarias destaca el atún aleta amarilla (AA), un recurso pesquero percedero, que precisa mecanismos eficientes de captura, transporte, almacenamiento, elaboración y envasado para su comercialización. Es decir, se requiere cumplir con requisitos específicos y aplicar técnicas de conservación, para preservar su calidad nutricional y tecnológica, ampliar su vida útil, reducir al mínimo el deterioro causado por bacterias y evitar las pérdidas por una manipulación inadecuada (FAO, 2012).

El deterioro de la calidad del pescado se debe a la acción bacteriana y a reacciones bioquímicas durante su manejo y almacenamiento. Para evaluar dicha calidad se han empleado métodos sensoriales, físicos, microbiológicos y químicos (Song et al., 2012). De las cuatro etapas post-mortem del pescado, *pre-rigor*, *rigor mortis*, *post-rigor* y *putre-*

*Autor para correspondencia: Juan Antonio Cortés-Ruiz
 Correo electrónico: :juan_ciad@hotmail.com

Recibido: 31 de enero de 2014

Aceptado: 07 de febrero de 2015

facción, destaca el *rigor mortis*, ya que se asocia directamente con la frescura; si un pescado se encuentra en esta etapa o en la etapa anterior (*pre-rigor*), se encuentra en estado de óptima frescura (Agüeria, 2008; Avdalov, 2009).

En la industria del pescado es fundamental la frescura, valor nutritivo, inocuidad y calidad tecnológica que éste presente como materia prima. La calidad tecnológica del pescado está determinada por la funcionalidad de sus proteínas musculares y por el tipo de interacciones que éstas establecen con el resto de los componentes dentro de un producto alimenticio (Sikorski, 2001). La calidad tecnológica que presenta la materia prima influye en la calidad sensorial de los alimentos procesados y en el rendimiento del proceso (Reinheimer y Pérez, 2009; Prieto *et al.*, 2008), de ahí la importancia de optimizar el control de calidad de la materia prima empleada en la industria alimentaria.

De acuerdo con lo antes expuesto, el empleo óptimo del atún AA, desde el punto de vista del rendimiento obtenido en los procesos industriales y las características sensoriales y nutritivas de los productos elaborados, está determinado por su calidad tecnológica. En la industria del atún, se requiere incluir en el control de calidad, los parámetros que indican la calidad de consumo y los indicadores de calidad tecnológica. Por todo lo anterior, el objetivo del presente proyecto fue evaluar la calidad tecnológica y frescura del músculo del atún AA capturado y congelado a -18°C (CC), en el momento de su desembarque (DD) y previo al proceso industrial (PP).

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia Prima y Muestreo

Se utilizó atún aleta amarilla (AA) *Thunnus albacares*, proporcionado por la empresa Pesca Azteca, S.A. de C.V. en el puerto de Mazatlán, Sinaloa, localizado entre los Meridianos $105^{\circ}56'55''$ y $106^{\circ}37'10''$ al oeste del meridiano de Greenwich, y entre los paralelos $23^{\circ}04'25''$ y $23^{\circ}50'22''$ de latitud norte. El atún fue muestreado en el periodo comprendido entre junio 2012 y junio 2013 en 3 puntos; el primer punto (CC), fue a bordo del B/M "El Dorado"; el segundo punto (DD), fue en el momento de la descarga de las embarcaciones atuneras B/M "El Dorado", "María Antonieta", y "Azteca 8"; el tercer punto (PP), fue previo a los procesos industriales de ahumado y de enlatado. En cada uno de los 3 puntos se realizaron 3 muestreos (3 viajes, 3 descargas y 3 lotes listos para su proceso industrial), y en cada muestreo se tomaron de manera aleatoria 3 atunes, para un total de 27 atunes.

En el muestreo a bordo de la embarcación, se extrajo la parte muscular dorsal superior de cada atún, se colocó en bolsa comercial de polietileno transparente (calibre 175), se congeló y se mantuvo a -18°C (CC) hasta llegar a puerto y trasladar las muestras al laboratorio para su análisis. Los atunes muestreados durante la descarga y en la planta antes de su proceso industrial, se colocaron en las bolsas de polietileno transparente (calibre 175), se enhielaron y transportaron al laboratorio de Calidad e Inocuidad de los Productos Pesqueros y Acuícolas del Instituto Tecnológico de Mazatlán

para su análisis de inmediato. Con el fin de homogeneizar las muestras y disminuir la variabilidad de los datos determinados en cada parámetro, éstas se trituraron empleando un procesador de alimentos Modelo: AR6838C6 (Moulinex, México).

Composición Química Proximal y pH

A las muestras de atún AA (CC, DD y PP), se les determinó el contenido de proteína neta, nitrógeno no proteico (NNP), lípidos, humedad y cenizas, siguiendo las metodologías recomendadas por la AOAC (2002) y Woyewoda *et al.* (1986). Para el pH se aplicó el procedimiento propuesto por Martin (1992), que consiste en mezclar y homogeneizar 2 g de muestra con 18 mL de agua destilada. El pH se determinó a 25°C con un potenciómetro digital Corning. Modelo 240 (Corning Inc., Corning, NY).

Índice de frescura

Para este parámetro se utilizó la técnica de Valor K, según Uchiyama y Ehira (1970), citados por Ayala *et al.* (2001), con ligeras modificaciones. Esta técnica consiste en una separación cromatográfica de las moléculas fosforiladas y no fosforiladas derivadas de la degradación del ATP. El Valor K expresa el valor obtenido de la relación entre los compuestos no fosforilados y la suma de los fosforilados y no fosforilados. Se mezclaron y homogeneizaron en frío durante 4 min 5 g de músculo de atún AA con 15 mL de ácido perclórico al 10% para precipitar las proteínas, centrifugando a $1610 \times g$ por 7 min en una centrífuga Marca SOL BAT. Modelo C-600 (SOL BAT, S.A., México). Al sobrenadante obtenido se le ajustó el pH (6 a 7) con una solución de hidróxido de potasio al 50% y después llevado a pH entre 9 y 9.5 con una solución de amoníaco 1/10. Se procedió a filtrar y se tomaron 2 mL del extracto, los cuales fueron pasados a través de una columna con resina Dowex[®] 1X8 (200-400 mallas).

Los compuestos no fosforilados son separados mediante un eluyente ácido de baja fuerza iónica, en tanto que los fosforilados son eluidos utilizando una solución ácida de alta fuerza iónica. Ambos eluidos se colectaron y leyeron en el espectrofotómetro Jenway 6405 uv/vs (HACH-DR, EUA), a una longitud de onda de 300 nm.

Fracccionamiento de Proteínas

Se separaron cinco fracciones (compuestos nitrogenados no proteicos, proteínas solubles en solución salina de fuerza iónica baja ($I=0.05$), proteínas solubles en solución salina de fuerza iónica alta ($I=0.50$), proteínas solubles en álcali y proteínas insolubles), empleando la metodología propuesta por Hashimoto *et al.* (1979), con ligeras modificaciones. Se homogeneizaron 20 g de músculo de atún AA con 200 mL de buffer fosfato (Na_2HPO_4 15.6 mM, KH_2PO_4 3.5 mM; $I=0.05$, pH 7.5), y se centrifugó el homogeneizado ($1610 \times g$ /15 min). El precipitado obtenido se mezcló de nuevo con 200 mL del mismo buffer fosfato, y se repitió el homogeneizado y centrifugado. A la mezcla de los dos sobrenadantes se le agregó ácido tricloroacético (TCA) hasta una concentración

final de 5% para precipitar las proteínas solubles en fuerza iónica baja ($I=0.05$), y dejar en el sobrenadante los compuestos nitrogenados no proteicos.

El precipitado inicial (proteína insoluble a baja fuerza iónica) se homogeneizó con 200 mL de buffer-KCl (Na_2HPO_4 15.6 mM, KH_2PO_4 3.5 mM, KCl 0.45M; $I=0.50$, pH = 7.5), evitando espumeo y se centrifugó a 1610 xg por 15 min (la homogeneización y centrifugado se realizó en dos ocasiones). Los sobrenadantes obtenidos se consideraron como la fracción de proteínas solubles en fuerza iónica alta ($I=0.50$), mientras que el precipitado se sometió durante toda la noche a extracción exhaustiva con 100 mL de NaOH 0.1 N bajo agitación. La mezcla se centrifugó a 1610 xg durante 15 min y el sobrenadante obtenido fue la fracción de proteína soluble en álcali, considerando al residuo final como la fracción insoluble (proteína estromal). Cada fracción se analizó para determinar el contenido de nitrógeno por la técnica de micro Kjeldahl, (Woyewoda *et al.*, 1986).

Calidad Tecnológica del Músculo de Atún.

Para evaluar la calidad tecnológica del atún AA en cada una de las etapas de muestreo (CC, DD y PP), se determinó la solubilidad de proteínas, capacidad de formación de gel y la capacidad de retención de agua.

Solubilidad de proteínas. Esta propiedad funcional, se determinó siguiendo la metodología descrita por Camou y Sebranek (1991), con algunas modificaciones. Se mezclaron y homogeneizaron 3.5 g de músculo de atún AA con 35 mL de solución buffer salino (NaCl 0.56 M, tripolifosfato de sodio ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) 17.8 mM y azida de sodio (NaN_3) 5 mM, pH 8.3). El homogeneizado se centrifugó (1610 xg /1 h) y se determinó la concentración de proteínas en el sobrenadante, por el método de micro Kjeldahl (Woyewoda *et al.*, 1986). La solubilidad de proteínas se expresó como g de proteína solubilizados por g de proteína presente (g_{ps}/g_{pp}) o como el porcentaje de proteína solubilizada, con respecto al total.

Capacidad de Formación de Geles (CFG). Se prepararon soles (80.0% humedad, 17.5% sólidos y 2.5 % NaCl), se colocaron en placas Petri de vidrio (altura, 1 cm), se empacaron en bolsas de plástico (Cryovac Corp., Duncan, SC) y se sellaron al vacío. El sol empacado se sometió a un proceso térmico para su gelificación en baño de agua (90°C/30 min), se enfrió en baño de agua con hielo y se mantuvo en refrigeración (2-4°C) por 24 h antes de evaluarlo. La calidad del gel se evaluó mediante la prueba de doblado, utilizando la técnica propuesta por Tanikawa *et al.* (1985), que consiste en doblar dos veces por la mitad rebanadas de 3 mm de altura por 30 mm de diámetro. De acuerdo a su comportamiento al doblado, se le asignó un valor utilizando la siguiente escala (Lanier, 1992): Calidad 5(AA), sin quebrarse al doblar en cuadrantes; 4(A), sin quebrarse al doblar por la mitad; 3(B), al presentar desarrollo de quiebre gradual al doblar por la mitad; 2(C), al presentar un quiebre inmediato al doblar por la mitad o 1(D), al desmoronarse cuando se presiona con los dedos.

Capacidad de retención de agua (CRA). Esta propiedad funcional se determinó en el músculo del atún AA y en el respectivo gel, empleando la técnica propuesta por Jiang *et al.*, (1985). Se centrifugaron 5 g de muestra (1610 xg / 20 min) y la CRA se expresó como porcentaje de agua retenida con relación a la cantidad de agua total presente en la muestra antes de centrifugar (CRA-1) y como g de agua retenida por g de proteína presente en la muestra (CRA-2) (Chin *et al.*, 1993).

Análisis Estadístico

Se aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) de una sola vía y la comparación de medias de rango múltiple de Tukey-Kramer, con un nivel de significancia del 5% ($p=0.05$). El análisis de los datos se realizó empleando el programa estadístico MINITAB.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materia Prima y su Composición Química Proximal

La presencia y proporción de los componentes principales (humedad, lípidos, proteínas, nitrógeno no proteico y cenizas) del pescado en general y del atún en particular, puede verse afectada por su estado fisiológico y otros factores intrínsecos y extrínsecos (Huss, 1999). De ahí la importancia de su determinación, a fin de poder hacer las comparaciones pertinentes entre los resultados generados en diversos estudios.

La Tabla 1 muestra los resultados de la composición química proximal del atún AA analizado en este estudio, y la reportada por Márquez-Figueroa *et al.* (2006) y Tapia (2010). De acuerdo con el análisis estadístico realizado, se presentaron diferencias significativas en la composición química proximal (humedad, cenizas y NNP) entre los especímenes de atún AA proveniente de los puntos de muestreo (CC, DD, PP). Se puede observar una variabilidad importante en la desviación estándar en cada parámetro, debido a que se emplearon especímenes de diferente talla (3/5; 5/12 y 20/30) y porque la composición química proximal está en función de diversos

Tabla 1. Composición química proximal del músculo de atún AA (% en base húmeda)

Table 1. Proximate chemical composition of YF tuna muscle (% wet basis)

Especie	Humedad	Proteínas	Lípidos	Cenizas	NNP
Atún CC ¹	72.7±0.5 ^a	18.8±0.9 ^a	1.4±1.4 ^a	1.5±0.1 ^a	0.5±0.2 ^a
Atún DD ¹	73.1±0.6 ^b	17.6±0.8 ^a	0.8±0.4 ^a	1.6±0.3 ^b	0.6±0.0 ^b
Atún PP ¹	72.8±1.8 ^{a,b}	17.2±1.1 ^a	0.6±0.3 ^a	1.4±0.1 ^{a,b}	0.7±0.1 ^c
Atún fresco ²	70.5±2.9	26.3±1.8	1.1±0.2	2.0±0.2	NR
<i>T. albacares</i> ³	NR	23.38	0.95	1.34	NR

¹Los valores representan el promedio y la desviación estándar (n=3). Los valores que tienen el mismo superíndice dentro de una misma columna, significa que no presentan diferencias significativas ($p \geq 0.05$). CC; capturado y congelado a -18°C; DD; durante el desembarque, PP; previo a su procesamiento industrial, ²(Márquez-Figueroa *et al.*, 2006), ³(Tapia-Jopia, 2010). NR, No reportado.

factores, como la edad, época del año, condición fisiológica y alimentación, entre otros (Huss, 1999). Los resultados obtenidos en este estudio se compararon con los reportados por otros autores, destacando diferencias en las proteínas; en las muestras del presente estudio se obtuvo una concentración de proteínas menor, de alrededor del 18% (sin incluir el nitrógeno no proteico) lo que equivale aproximadamente a 21-22 % de proteína cruda respecto al 23% o más reportado por Márquez-Figueroa *et al.* (2006) y Tapia (2010).

En el pescado post-mortem se presentan cambios enzimáticos (autólisis y acción bacteriana) sobre compuestos nitrogenados proteicos y no proteicos (Huss, 1999; Sanjuás, 2012), que repercuten en una disminución de su frescura, sin embargo, los resultados de la composición química proximal, no siempre evidencian dichos cambios. Estos cambios varían, ya que el atún capturado es de talla diferente, además de que se manipula, congela, transporta y almacena durante periodos de tiempo y temperaturas variables. Hay requisitos y técnicas específicas que se deben desarrollar y aplicar para preservar su calidad nutricional y ampliar su vida útil, al minimizar la ocurrencia de dichos cambios (FAO, 2012). Los procedimientos tecnológicos deben sustentarse principalmente en impedir la acción de enzimas endógenas sobre el pescado almacenado en congelación y evitar pérdida de calidad sensorial, nutricional y funcional (Coppes, 2010).

El contenido de nitrógeno no proteico se puede incrementar como resultado de la acción enzimática (endógena y exógena) sobre las proteínas. Su cuantificación permite observar los cambios que presenta esta fracción, conforme el pescado pierde frescura y no sobreestimar el contenido de proteínas (Sikorski *et al.*, 1990). En este estudio, la proporción de nitrógeno no proteico con respecto al nitrógeno total, determinada en el músculo del atún AA en las etapas CC, DD y PP fue del 14.9±5.4%, 17.8±1.4% y 19.4±3.0%, respectivamente; presentando diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), incrementando el valor al pasar de una etapa a otra, lo que coincidió con los cambios presentados en las fracciones proteicas.

Fraccionación de Proteínas. En el pescado fresco se identifican principalmente 3 grupos de proteínas, las estructurales, sarcoplásmicas y las del tejido conectivo (Hleap y Molina, 2008). La proporción en la que se encuentran los grupos de proteínas, está en función de la frescura del pescado, y por lo tanto, de los cambios autolíticos y microbianos que ocurren en las etapas post mortem, los cuales, determinan la acumulación-desaparición de compuestos (proteicos y no proteicos), incidiendo en la calidad del pescado como materia prima (Chavarría, 2012). Estos cambios son minimizados con la aplicación tradicional de la congelación (Mena *et al.*, 2010).

Mediante la fraccionación de las proteínas del músculo de pescado se puede evaluar el impacto que tienen las prácticas de manejo a bordo de las embarcaciones y los procesos tecnológicos, sobre la proporción en la que se encuentran los grupos proteicos. El potencial del pescado

como materia prima se ve afectado por los cambios que experimentan las fracciones proteicas. Por lo anterior, los resultados de la fraccionación proteica se pueden emplear como base para optimizar el manejo poscaptura y no afectar la calidad requerida para su transformación industrial. Las fracciones proteicas del músculo del atún AA obtenidas en el presente estudio, se denominaron de acuerdo con la clasificación de Huss (1999) como proteínas sarcoplásmicas (PS) a las solubles en solución salina neutra de fuerza iónica baja ($I=0.05$), proteínas estructurales (PES) a las solubles en solución salina neutra de fuerza iónica alta ($I=0.50$), proteínas agregadas (PA) a las solubles en álcali y proteínas estromales (PE) a las insolubles.

En la Tabla 2 se presentan los resultados de las fracciones proteicas determinadas en músculo de atún AA en cada una de las etapas evaluadas en el presente estudio (CC, DD, PP), así como también datos de sardina *Sardinops melanosticta* (Hashimoto *et al.*, 1979) y para el pescado en general (Hleap y Molina, 2008; Huss, 1999; Rodríguez, 2004), con el fin de hacer una comparación más objetiva. Tanto en el estudio de Hashimoto *et al.* (1979) como en el de Rodríguez (2004), la proporción de PA fue baja (10% máximo), en tanto que la proporción de las PES, fue la mayor (> 60%).

Tabla 2. Proporción porcentual de las fracciones proteicas del músculo de atún AA, sardina y del pescado en general

Table 2. Percentage proportion of protein fractions of muscle from YF tuna, sardines and fish in general

Músculo	PS	PES	PA	PE
Atún CC	55.3±13.93 ^c	7.0±4.8 ^a	18.3±11.25 ^a	19.4±6.6 ^b
Atún DD	36.8±8.9 ^b	13.6±6.2 ^b	36.1±10.60 ^b	13.5±10.60 ^a
Atún PP	17.7±13.5 ^a	9.0±3.0 ^a	56.6±12.02 ^c	16.7±12.02 ^a
Sardina (<i>Sardinops melanosticta</i>) ¹	23-29	62-66	6-9	2-3
Pescado en general ²	25-30	70-80	NR	3
Pescado en general ³	25-30	70-80	NR	3
Pescado en general ⁴	20-35	65-75	3-10	NR

^{a,b,c}Los valores representan el promedio y la desviación estándar ($n=3$). Los valores que tienen el mismo superíndice dentro de una misma columna, significa que no presentan diferencias significativas ($p \geq 0.05$). CC; captura y congelado a -18°C; DD; en el momento del desembarque; PP; previo a su procesamiento industrial, ¹(Hashimoto *et al.*, 1979), ²(Hleap y Molina, 2008), ³(Huss, 1999), ⁴(Rodríguez-Caeiro, 2004); NR, No reportado; PS, proteínas sarcoplásmicas; PES, proteínas estructurales; PA, proteínas agregadas y PE, proteínas estromales.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio, se observan diferencias significativas en las proporciones de las PS y PA. Lo anterior se debe a las diferencias en la edad cronológica y en las condiciones del manejo poscaptura aplicadas a los especímenes muestreados. El atún AA(CC) fue muestreado inmediatamente después de su captura en el último lance del barco y congelado a -18°C, el atún AA (DD) se congeló a bordo de la embarcación a -12°C por inmersión en salmuera y se muestreó al llegar a puerto y durante la descarga y, el atún AA (PP) fue congelado a

bordo de la embarcación a -12°C por inmersión en salmuera, descargado en puerto, almacenado en frigoríficos a -20°C y muestreado hasta el momento previo a su proceso industrial.

Destaca la elevada proporción de PA y su incremento de CC al DD y PP, esto podría explicarse en virtud de que en un pescado fresco la proporción de PA tiende a ser baja y se puede incrementar conforme se formen complejos o agregados proteicos, debido a la ocurrencia de la acción enzimática endógena y exógena, y por procesos oxidativos que inducen entrecruzamientos proteicos y formación de complejos lipídico-proteicos. En el caso de las PS se encontraron en una proporción elevada en CC, lo que pudiera ser atribuido a la acción enzimática, sin embargo, posteriormente disminuyó en el atún DD y PP (Cordova *et al.*, 2009).

Para la conservación de los recursos pesqueros se recurre a la congelación, en donde se forman cristales de hielo que pueden provocar daños en el tejido, propiciar la salida de nutrientes y, por tanto, un proceso de deshidratación del pescado. Dentro de las principales consecuencias que se producen están, la liberación y acción de enzimas que actúan sobre lípidos y proteínas, así como el descenso en la capacidad de retención de agua, que se manifiesta después de la descongelación por el exudado, produciendo pérdida de peso y textura reseca (Rojas, 2011). Actualmente en la pesquería del atún se aplica un sistema inadecuado de manejo a bordo en las embarcaciones, ya que se congela de manera lenta a -12°C , afectándose principalmente su calidad tecnológica.

Las proteínas estructurales conforman el aparato contráctil, responsable de los movimientos musculares del pescado, participan en el rigor mortis y son responsables de la CRA del pescado, su textura y las propiedades organolépticas de los homogeneizados y picados de pescado, en particular de la capacidad de formación de geles. El restablecimiento del músculo durante la resolución del rigor mortis coincide con los cambios autolíticos asociados a la pérdida de frescura que sufre el pescado, debido a la variedad de enzimas presentes en el músculo, que se incorporan a reacciones deteriorativas (estado de descomposición). Los procesos de alteración microbiana se producen una vez que se ha resuelto el rigor mortis y se describen como procesos proteolíticos. Las reacciones deteriorativas se evidencian con cambios indeseables en la apariencia general del pescado, como el color, aroma, y textura de su carne, lo que significa pérdida de frescura y calidad (Hleap y Molina, 2008).

Valor K. Los cambios químicos y bioquímicos que ocurren en el pescado post-mortem provocan variación en sus características físicas y sensoriales. El valor K es uno de los métodos químicos más adecuados para determinar la frescura del pescado; éste depende principalmente de las condiciones particulares de las especies, tales como la catálisis y el equilibrio termodinámico derivado del metabolismo de ATP. El valor K se define como la razón de la suma de HxR y Hx, entre la suma del ATP y todos sus productos de degradación hasta Hx, los cuales se van incrementando conforme el pescado

pierde frescura, siendo la temperatura uno de los principales factores que influyen en los resultados de este valor. Un pescado con un valor K (%) mayor de 75 es considerado de baja calidad y menor de 20 de excelente calidad (Márquez *et al.*, 2011; Valls y Paredes, 2010). Con base a lo anterior, la calidad del atún analizado en este estudio fue buena, aun cuando presentó una disminución en su frescura, ya que el índice K fue 8.1 ± 1.5 para el atún CC, 17.6 ± 7.0 para el atún DD y 21.9 ± 4.5 para el atún PP.

Calidad tecnológica. Las propiedades funcionales se definen como "toda propiedad no nutricional que condiciona su uso en alimento, es decir, fuera del balance de la composición de aminoácidos esenciales, lo que interesa en la funcionalidad de una proteína es su comportamiento durante el procesamiento del alimento (Totosaus, 2008). La SP, CRA y CFG son tres de las principales propiedades funcionales de interés industrial.

Solubilidad de proteínas (SP). Esta propiedad indica la presencia de proteína disponible para ejercer funciones como la retención de agua y gelificación, entre otras. Dentro de los factores que afectan la solubilidad de las proteínas cárnicas están la especie, tipo específico de músculo, de fibra y de isoforma, así como la cantidad de tejido conectivo presente, estado de rigor, temperatura, pH del medio, tipo y concentración de sales utilizadas y condiciones de extracción (De Berardinis *et al.*, 2012; Hultin *et al.*, 1995).

En el atún las proteínas miofibrilares se desnaturalizan entre 20% y 30%, incluso estando fresco, lo que representa un descenso de la extractabilidad y una menor solubilidad de la proteína miofibrilar, la cual varía en función de la temperatura y el pH del músculo (Mena *et al.*, 2010). Durante la congelación y almacenamiento en congelación las propiedades funcionales de las proteínas del músculo disminuyen (De Berardinis *et al.*, 2012; Mena *et al.*, 2010).

En los resultados obtenidos en el presente estudio, el músculo de atún AA (CC), almacenado en congelación presentó un pH de 6.1 y una SP (g de proteína solubilizada por cada g de proteína presente) de 0.7 ± 0.1 , mientras que el músculo de AA (DD) presentó un pH de 5.9 y una SP de 0.5 ± 0.1 . Finalmente, el músculo de atún AA (PP) presentó un pH de 5.8 y una SP de 0.4 ± 0.0 . Se observa una disminución importante en la solubilidad de las proteínas del músculo de atún, sin embargo, ya desde el momento del desembarque, esta propiedad funcional fue baja. Teóricamente se esperaría una solubilización por arriba del 80% de las proteínas, en las condiciones empleadas para su determinación, ya que las proteínas miofibrilares y sarcoplásmicas se pueden solubilizar en la solución salina empleada en esta prueba. Por lo tanto, una disminución de solubilidad es un reflejo de la presencia de complejos proteína-proteína y/o proteína-lípido, que no pueden ser solubilizados, excepto en condiciones alcalinas, y esto coincide con lo obtenido en el protocolo de fraccionación de proteínas, donde la fracción de proteínas solubles en álcali fue considerablemente elevada.

Capacidad de formación de geles (CFG). Las proteínas musculares tienen capacidad para formar geles irreversibles durante su calentamiento, mediante la formación de una red proteica ordenada. Durante el calentamiento se pueden exponer grupos -SH internos y promover la formación o intercambio de puentes disulfuro entre moléculas vecinas, lo que lleva a la formación de agregados. El calentamiento además, favorece las interacciones hidrofóbicas en el interior de la molécula proteica. La formación de la red tridimensional final implica también, puentes de hidrógeno que se favorecen durante el enfriamiento (Farías, 2012). Los factores principales que afectan la capacidad de gelificación de una proteína son su concentración, temperatura, duración del tratamiento térmico, así como las condiciones de enfriamiento (UNAD, 2013).

En este estudio se prepararon soles y se sometieron al proceso de gelificación inducida térmicamente, obteniéndose geles con un contenido de humedad y proteína cruda de alrededor del 80% y 15%, respectivamente. A los geles elaborados con el músculo del atún AA (CC), se le asignaron calificaciones de 4(A) y 5(AA), mientras que a los elaborados con el músculo del atún AA (DD) se les asignaron calificaciones desde 3(B), 4(A) y hasta 5(AA). Finalmente, los geles elaborados con el músculo del atún AA (PP), presentaron una calidad aún más variable, ya que se les asignaron calificaciones desde 2(C), 3(B), 4(A) y 5(AA). En general, los geles presentaron consistencia suave y blanda, reflejando dificultad para establecerse la red proteica tridimensional durante el proceso de gelificación, siendo esto congruente con la baja solubilidad que presentaron las proteínas y la elevada proporción de proteínas solubles en álcali antes mencionado y en consecuencia con una capacidad de retención de agua baja de las proteínas del músculo de atún y de los respectivos geles.

Capacidad de retención de agua (CRA). Esta propiedad funcional de las proteínas cárnicas es importante, desde el punto de vista sensorial, nutritivo y tecnológico (Acosta, 2011). La CRA se puede evaluar aplicando fuerza centrífuga, y es importante, ya que de esta propiedad dependen los rendimientos que se tienen en procesos térmicos (pérdidas por cocción) o en la conservación por congelación (pérdidas por goteo). La CRA condiciona parámetros como el color, textura, y sobre todo jugosidad de los alimentos. Cuando su estudio se lleva a cabo a lo largo de un periodo de almacenamiento en frío, es un buen indicador del estado de la fracción proteica miofibrilar del músculo de pescado, ya que el valor de la CRA disminuye con la agregación proteica (Moreno, 2010). La CRA varía en función del tipo de proteína, de su concentración, pH, temperatura, fuerza iónica y de la presencia de otros compuestos (carbohidratos, lípidos, sales) que intervienen en las interacciones proteína-agua, así como de las condiciones previas al proceso, como el calor, tratamiento con álcalis, etc. (Borderías y Montero, 1988; Marín, 1993; Sikorski, 2001).

La Tabla 3 muestra los resultados de la CRA obtenida en este estudio, tanto del músculo del atún AA (CC, DD y PP)

como de sus respectivos geles. El músculo de atún AA (PP) y su respectivo gel, presentaron los valores estadísticamente más bajos ($p < 0.05$), con respecto a CC y DD. Estos resultados reflejan la formación de una red tridimensional con interacción proteína-agua débil, y en consecuencia un gel suave y poco elástico, tal como lo evidencian los valores registrados en la prueba de doblado. Un gel preparado con músculo de pescado es de buena calidad cuando presenta valores de 5 en la prueba de doblado, en la medida en que la frescura disminuye y se establecen modificaciones en las proteínas, disminuye la habilidad para formar una red tridimensional capaz de retener el agua presente, cuando éste se somete a una presión o a fuerza centrífuga.

Tabla 3. Capacidad de retención de agua del músculo de atún AA y de sus respectivos geles.

Table 3. Water holding capacity of the muscle YF tuna and their respective gels.

Punto de muestreo	Músculo		Geles	
	CRA-1	CRA-2	CRA-1	CRA-2
CC	76.5±14.8 ^b	2.9±0.5 ^a	70.4±16.0 ^b	3.7±0.8 ^b
DD	84.0±13.5 ^b	3.7±0.9 ^b	84.0±13.5 ^c	3.7±0.9 ^b
PP	61.6±8.0 ^a	2.6±0.5 ^a	43.5±7.3 ^a	2.5±0.6 ^a

^{a,b,c}Los valores representan el promedio y la desviación estándar ($n=3$). Los valores que tienen el mismo superíndice dentro de una misma columna, significa que no presentan diferencias significativas ($p \geq 0.05$). CC; capturado y congelado a -18°C; DD; durante el desembarque, PP; previo a su procesamiento industrial. CRA-1, Capacidad de retención de agua (porcentaje de agua retenida con respecto al agua total inicial), CRA-2, Capacidad de retención de agua (g de agua retenida/g de proteína).

Estos resultados evidencian la facilidad con la que el agua puede ser liberada cuando el músculo se expone a condiciones de estrés térmico, como en el proceso de ahumado en caliente o el enlatado. El rendimiento del proceso suele ser bajo, repercutiendo en los atributos sensoriales como sabor, color y apariencia principalmente, y en consecuencia un incremento en los costos de producción. De acuerdo con los valores promedio de humedad y proteínas, obtenidos en la composición química proximal del músculo de atún en cada una de las etapas (CC, DD y PP), la relación inicial de g de agua por g de proteína presente en el músculo antes de centrifugar, fue de aproximadamente 3.9, 4.2 y 4.2, respectivamente. Estos valores permiten hacer un contraste con los resultados presentados como CRA-2 (que expresa los g de agua retenidos por cada g de proteína presente en la muestra), los cuales fueron en promedio 2.9, 3.7 y 2.6, lo que representó una disminución del 26, 12 y 38%, respectivamente. Conforme se pierde frescura, y se establecen los agregados proteicos solubles en solución alcalina, disminuye la capacidad de retención de agua.

CONCLUSIONES

El atún aleta amarilla evaluado, presentó una calidad tecnológica variable y baja, aun cuando su frescura fue buena de acuerdo con el resultado del valor K. La proporción elevada de proteínas solubles en álcali y los valores relativa-

mente bajos que presentaron las propiedades funcionales evaluadas (solubilidad de proteínas, capacidad de retención de agua y capacidad para formar geles), sugieren la ocurrencia de cambios bioquímicos postmortem que afectaron la calidad tecnológica de este recurso pesquero. Los resultados del presente estudio ponen de manifiesto la necesidad urgente de modificar y optimizar el esquema actual de manejo poscaptura, además de establecer mecanismos más objetivos orientados a controlar la calidad tecnológica, además de la calidad de consumo.

La calidad tecnológica que presenta el atún no resulta tan obvia, como su calidad sensorial, por ello se requiere evaluar sistemática y oportunamente este recurso en el desembarque, para dictaminar su condición y definir el protocolo de recepción y procesamiento adecuado, para obtener los máximos rendimientos y las mejores características sensoriales en el producto terminado. Se recomienda continuar con esta línea de investigación, a fin de aplicar otras técnicas relacionadas con la pérdida de frescura y esclarecer las rutas de degradación que determinan la condición tecnológica del atún AA como materia prima para la industria.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Calidad e Inocuidad de los Productos Pesqueros y Acuícolas del Instituto Tecnológico de Mazatlán (IT-Mazatlán), con el apoyo económico del IT-Mazatlán.

REFERENCIAS

- Acosta, U.L.M. 2011. Eco Varita: Producto Cárnico Ecológico. En Juan Carlos Torrico y Omar Cardona (ed.), Ganadería Ecológica. Guía para las Buenas Prácticas Ganaderas Experiencias en el Sumapaz-Colombia. *CienciAgro, Journal de Ciencia y Tecnología Agrícola*. 13: 290, 304.
- AOAC. 2002. Official Methods of Analysis. 17 th Ed. Association of Official Analytical. Gaithersburg, MD, USA, Official Method 960.39.
- Agüeria, D. 2008. De la laguna a la mesa: ¿Cómo evaluar la calidad del producto pesquero y cómo conseguirla?. En: Espejos en la llanura. Nuestras lagunas de la región pampeana. Capítulo VIII. Fabian Grosman (Compilador). pp 112. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Ayala, M.E., Salas, A., Carbajal, M., Plácido, M. y Albretch-Ruiz, M. 2001. Patrón de deterioro de anchoveta peruana (*Engraulis ringens*) almacenada a temperatura de refrigeración. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*. 3(3):161-168
- Avdalov, N. 2009. Manual de Control de Calidad y Manipulación de Productos Pesqueros para Pescadores y Procesadores Artesanales. pp 53. INFOPECA. Montevideo, Uruguay.
- Camou, J. P., y Sebranek, J. G. 1991. Gelation characteristics of muscle proteins from pale, soft, exudative (PSE) pork. *Meat Science*. 30: 207-220.
- Chavarría, S. F. 2012. Efecto de la Manipulación a Bordo de las Embarcaciones en la Conservación de la Frescura y la Composición Química de la Corvina Picuda (*Cynoscion phoxocephalus*), Capturada Artesanalmente en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. Universidad para la Cooperación Internacional (UCI). San José, Costa Rica.

- Chin, Y. C., Richardson, L., y Morrissey, M. 1993. Effects of pH and NaCl on Gel Strength of Pacific Whiting Surimi. *Journal of Aquatic Food Product Technology*. 2: 22, 35.
- Coppes, P.Z. 2010. Aplicaciones de las enzimas de organismos marinos en la industria alimenticia pesquera. *La Alimentación Latinoamericana*. 290: 8, 13.
- Córdova, I.A., Ruiz, L.C.G., Córdova, J.C.A., Córdova, J.M.S., Guerra, L.J.E., Rodríguez, D.B.E. y Arancibia, S.K. 2009. Estrés oxidativo y antioxidantes en la conservación espermática. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*. 3(1):01-38,5
- De Berardinis, R., Medina, B.M.L. y Barrero, M. 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): 190, 201.
- FAO. 2012. Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO. pp 231. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Farías, M.E. 2012. Autoensamblaje del caseinomacropéptido (CMP) y su impacto en la gelificación y espumado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- Hashimoto, K., Watabe, S., y Kono, M. 1979. Muscle Protein Composition of Sardine and Mackerel. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*. Nippon Suisan Gakkaishi, 45 (11): 1437, 1441.
- Hleap, J. y Molina, A. 2008. Manual de Transferencia Tecnológica. Proceso de elaboración de Salchichas a partir de tilapia roja (*Oreochromis sp*) con adición de sagú (*Marantha arundinacea*): Universidad Nacional de Colombia.
- Hultin, H. O., Feng, Y., y Stanley, D. W. 1995. A Re-Examination of Muscle Protein Solubility. *Journal of Muscle Foods*. 6: 91-107.
- Huss, H. 1999. El Pescado Fresco: Su Calidad y Cambios de su Calidad: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) Documento Técnico de Pesca 348.
- Jiang, S., Ho, M., y Lee, T. 1985. Optimization of the Freezing Conditions on Mackerel and Amberfish for Manufacturing Minced Fish. *Journal of Food Science*. 50: 727-732.
- Lanier, T. 1992. Measurement of surimi composition and functional properties. En Tyler C. Surimi Technology (Ed.), pp 123-163. New York, NY. Marcel Dekker.
- Marín, M.M.L. 1993. Efectos del Tratamiento Térmico en la Hidrofobicidad, en los Grupos -SH, en la Antigenicidad y en la Capacidad de Ligar Grasa de las Proteínas Cárnicas. Facultad de Veterinaria. Universidad Complutense de Madrid.
- Márquez, F.Y.V, Cabello, A.M., Villalobos, L.B., Guevara, G., Figuera, G.B.E., y Vallenilla-González, O.M. 2006. Cambios físico-químicos y microbiológicos observados durante el proceso tecnológico de la conserva de atún. *Zootecnia Tropical*. 24 (1): 17-29.
- Márquez, R.E., Castillo, Y.F.J., Graciano, V.A.Z., Jiménez, R.E.I., Lugo, S.M.E., Maeda, M.A.N. y Ocaño, H.V.M. 2011. Impacto de las Prácticas Artesanales de Captura y Manejo Poscaptura en la Calidad del Músculo de Cazón. *Interciencia*. 36(9), 672-676.
- Marrugo, L., Yesid, A., Montero, C., Piedad, M. Duran, L. y Marlene. 2012. Propiedades Funcionales de Concentrados Proteicos de *Phaseolus lunatus* y *Vigna unguiculata*. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*. 19(1): 403-405.

- Martin, T. 1992. Surimi products. A Review. En G.J. Flick y R.E. Martin (Ed.). *Advances in Seafood Biochemistry. Composition and Quality*. pp. 377-391. Lancaster, PA. USA: Technomic Publishing Co. Inc.
- Mena, S., Rodríguez, L. y Barrero, M. 2010. El glaseado incorporando hidrocoloides como alternativa en el empaque de lomo de atún (*Thunnus thynnus*) congelado y almacenado a -10°C. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 60(3): 270-279.
- Moreno-Conde, H.M. 2010. Reestructuración en frío de músculo de pescado mediante la incorporación e alginato sódico y transglutaminasa microbiana. Facultad de Veterinaria. Departamento de Nutrición, Bromatología y Tecnología de los Alimentos. Universidad Complutense de Madrid, España.
- Prieto, M., Mouwen, J.M., López-Puente, S. y Cerdeño, S. A. 2008. Concepto de calidad en la industria agroalimentaria. *Interciencia*. 33(4):258-264.
- Rodríguez, C.M.J. 2004. Operaciones básicas de elaboración de conservas de pescados y mariscos. Guía práctica para el elaborador de conservas de pescado. pp 200. España: Ideaspropias Editorial.
- Reinheimer, M.A. y Pérez, G.A. 2009. Análisis de mecanismos de transferencia en alimentos porosos. En *Ciencia y Tecnología de los Alimentos: Avances en Ingeniería y Tecnología*. (Pablo Ribotta, Marcelo Rosmini y Miguel de Billerbeck, Editores). III congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Córdoba Argentina. 203-208.
- Rojas, G.E. 2011. El pescado Congelado. *Alta Tecnología en Producción de Productos de la Pesca: Surimi*. Laboratorio de Salud Pública Madrid Salud.
- Sanjuás, R.M. 2012. Aplicación de sistemas avanzados para la mejora de la calidad de productos marinos refrigerados de interés comercial. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- Sanmartín, E., Arbolea, J.C., Villamiel, M. y Moreno J. 2009. Recent Advances in the Recovery and Improvement of Functional Proteins from Fish Processing By-Products: Use of Protein Glycation as an Alternative Method. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 8: 332-344.
- Sikorski, Z. 2001. Functional Properties of Proteins in Food Systems. En Z. E. Sikorski (Ed.), *Chemical and Functional Properties of Food Proteins*, pp. 113-135. Lancaster - Basel: Technomic, Publishing Co., Inc.
- Sikorski, Z. E., Kolakowska, A., y Sun Pan, B. 1990. The Nutritive Composition of the Major Groups of Marine Food Organisms. En Z. E. Sikorski (Ed.), *Seafood: Resources, Nutritional Composition and Preservation*: Boca Ratón, Florida: CRC Press, Inc.
- Song, Y., Luo, Y., You, J., Shenb, H. y Hua, S. 2012. Biochemical, sensory and microbiological attributes of bream (*Megalobrama amblycephala*) during partial freezing and chilled storage. *J Sci Food Agric*. 92: 197-202.
- Tanikawa, E., Motohiro, T., y Akiba, M. 1985. *Marine Products in Japan*: Koseisha Koseikaku Co. Ltd. Tokyo, Japan.
- Tapia, J.C. 2010. Informe Atún Aleta Amarilla (*Thunnus albacares Bonnaterra*. 1788). pp 84. Corporación de Desarrollo Social del Sector Rural CODESSER.
- Totosaus, S.A. 2008. Funcionalidad de Hidrocoloides en Sistemas Cárnicos. V Simposio Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- UNAD. 2013. Lección de Reconocimiento. Unidad 2. 202015 – Química y Análisis de los Alimentos I. Escuela de Ciencias Básicas – Tecnología e Ingeniería. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/202015/Leccion_Reconocimiento_2_1_2013_202015.pdf. Fecha de consulta: Mayo de 2013.
- Valls, J.E. y Paredes, A. 2010. Caracterización Física y Química de la Sardina (*Sardinella aurita*). *Revista Científica, FCV-LUZ*. XX(5): 546-554.
- Woyewoda, A. D., Shaw, S. J., Ke, P. J., y Burns, B. G. 1986. Recommended Laboratory Methods for Assessment of Fish Quality: Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences No. 1448. pp 143. Minister of Supply and Services Canada. Halifax, NS. Canada.