



**Sección de Biología**  
Universidad de La Laguna

**Influencia del método de conservación en el valor  
nutricional de ácidos grasos omega-3 de atunes de pesca  
en Canarias**

**Influence of the conservation method on the  
nutritional value of omega-3 fatty acids of tuna fished in the  
Canary Islands**



Trabajo de Fin de Grado

**Oscar Delgado Moranchel**

Tutorizado por Dr. José Antonio Pérez Pérez y Dra. Diana Filipa Botelho Reis

Grado en Biología. Julio 2023

Resumen.....	1
Abstract.....	1
Introducción.....	2
El estado de la pesca en Canarias .....	2
El bonito listado ( <i>Katsuwonus pelamis</i> , Linnaeus, 1758) .....	5
El pescado como fuente de ácidos grasos omega-3 .....	6
La conservación de alimentos por congelación y ultracongelación .....	8
Objetivos .....	9
Material y Métodos .....	10
Diseño experimental .....	10
Determinación de humedad .....	11
Extracción de lípidos .....	11
Determinación de clases lipídicas.....	12
Análisis del perfil de ácidos grasos.....	12
Índices de calidad de los lípidos .....	13
Tratamiento estadístico de los resultados .....	14
Resultados y discusión .....	16
Contenido de lípido total y humedad.....	16
Clases lipídicas .....	17
Perfiles de ácidos grasos .....	19
Índices de calidad lipídica .....	24
Conclusiones .....	25
Conclusions .....	26
Bibliografía.....	27

## 1. Resumen

En este trabajo se analizó el perfil lipídico de 5 ejemplares de bonito listado (*Katsuwonus pelamis*) capturados por 5 barcos diferentes, en las costas de las Islas Canarias. De cada individuo se analizó lomo en fresco, congelado y ultracongelado, y la ventresca en fresco y congelada; con el objetivo de valorar cómo afecta el método de conservación al perfil lipídico de las piezas, prestando especial atención al contenido en ácidos grasos omega-3 de cadena larga (n-3 LC-PUFA). El lomo y la ventresca presentaron diferentes contenidos y perfil lipídico, mostrando la ventresca un mayor contenido graso ( $5.835 \pm 3.441$  mg/100 g) y consecuentemente mayor contenido en AG omega-3 por gramo de bonito ( $1.764 \pm 1.056$  mg/100 g). Según los datos de este estudio, con un consumo de 100 g de lomo de bonito listado se cumplen las recomendaciones mínimas de EPA+DHA de la FAO y la EFSA (250 mg/persona/día) ya que aporta de media 289 mg de estos AG. Con 100 g de ventresca, superaríamos incluso las recomendaciones de consumo más altas ya que alcanzaría los 1.441 mg de EPA + DHA. En relación al efecto del tipo de procesado/conservación, no se observaron diferencias significativas en el perfil de AG de las mismas entre los distintos tratamientos.

**Palabras clave:** *Katsuwonus pelamis*, nutrición humana, n-3 LC-PUFA, EPA, DHA

## 2. Abstract

In this study, the lipid profile of 5 specimens of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) caught by 5 different boats off the coast of the Canary Islands was analyzed. Fresh, frozen, and deep-frozen loin samples were analyzed for each individual, as well as fresh and frozen belly samples. The aim was to assess how the preservation method affects the lipid profile of the fish, with particular attention to the content of long-chain omega-3 fatty acids (LC-PUFA). The loin and belly showed different lipid content and profiles, with the ventresca exhibiting higher fat content ( $5835 \text{ mg}/100\text{g} \pm 3441\text{mg}$ ) and consequently a higher content of omega-3 fatty acids per gram of skipjack tuna ( $1764 \text{ mg}/100\text{g} \pm 1056 \text{ mg}$ ). According to the data from this study, consuming 100g of skipjack tuna loin meets the minimum EPA+DHA recommendations of the FAO and EFSA (250 mg/person/day), as it provides an average of 289 mg. With 100g of ventresca, we would even exceed the highest consumption recommendations, as it would reach 1441 mg of EPA + DHA. Regarding the effect of processing/preservation methods no significant differences were found on the fatty acid profile among the different treatments.

**Key words:** *Katsuwonus pelamis*, human nutrition, n-3 LC- PUFA, EPA, DHA.

### *3. Introducción*

En el año 2020, la producción de pesca y acuicultura alcanzó un hito histórico al llegar a las 214 millones de toneladas, con un valor estimado de alrededor de 424 000 millones de USD. La producción de animales acuáticos experimentó un crecimiento superior al 60 % en comparación con el promedio registrado en la década de 1990, superando significativamente el crecimiento de la población mundial. Este aumento se debe principalmente al incremento en la producción acuícola. El consumo humano ha pasado de los 9,9 kg/persona/año en la década de los 60s, a los 20,2 kg/persona/año en 2020. A nivel global, los alimentos acuáticos proporcionan alrededor del 17 % de la proteína animal, pero en varios países de Asia y África, este porcentaje supera el 50 %. El sector emplea a aproximadamente 58,5 millones de personas en la producción primaria, de las cuales aproximadamente el 21 % son mujeres. Si se tienen en cuenta los trabajadores del sector secundario, aquellos que dependen de la pesca y la acuicultura para su sustento y sus familias, se estima que al menos 600 millones de personas están parcialmente ligados a esta industria.

#### *El estado de la pesca en Canarias*

En las Islas Canarias, las actividades pesqueras principales abarcan la pesca costera artesanal, que incluye la captura de pequeñas especies pelágicas y demersales, la pesca de cefalópodos cerca de la costa africana mediante una flota de arrastreros congeladores, y la pesca de atún en alta mar. Las capturas obtenidas se descargan en puertos autorizados que funcionan como mercados de primera venta. Actualmente, en Canarias hay 41 entidades autorizadas como puntos de primera venta de productos pesqueros frescos y 3 para productos pesqueros congelados. De ellos, en Tenerife existen 18 para fresco y 1 para congelado, según datos del Gobierno de Canarias.

En términos de distribución de las descargas pesqueras frescas, más de la mitad del total se realiza en Tenerife, especialmente en lo que respecta a las especies pelágicas y los crustáceos. En Gran Canaria, se registra una descarga significativa de especies bentónicas y moluscos. En Lanzarote, predominan las descargas de especies pelágicas, mientras que en La Palma y El Hierro se realizan descargas importantes de crustáceos.

Durante los últimos años, el atún ha sido consistentemente la especie más destacada en las descargas pesqueras (Tabla 1). En 2022, el patudo fue la especie más común, representando

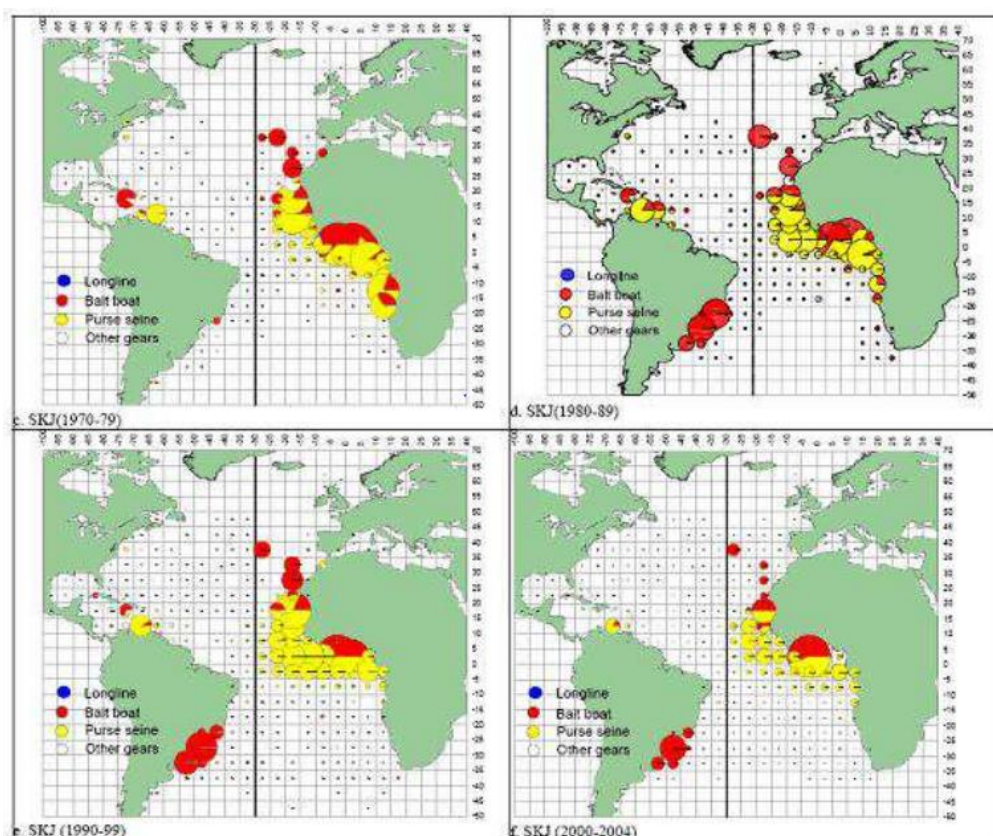
el 28,1% del volumen total y el 24,8% del valor. El bonito listado constituyó el 17,1% de la producción y el 4,9% del valor. El atún rojo y el atún blanco también son especies importantes en términos de su valor, representando el 13,6% y el 6,7%, respectivamente. Como vemos, los túnidos representan la mayor parte de las capturas en Canarias y su valor comercial es también el más importante dentro de la industria pesquera.

**Tabla 1.** Peso en kg y valor en € de las principales capturas en Canarias en 2022

<b>Año 2022</b>	<b>Capturas en kg</b>		<b>Valor en €</b>	
Patudo o atún de ojo grande o patudo del atlántico	2.082.115,6	28,1%	6.565.759,2	24,8%
Listado o bonito de vientre rayado	1.266.184,0	17,1%	1.286.893,7	4,9%
Estornino del Atlántico o caballa del sur	600.396,8	8,1%	438,1	0,0%
Atún blanco o bonito del norte o albacora	514.936,5	6,9%	1.763.102,6	6,7%
Atún rojo o atún de aleta azul	505.663,0	6,8%	3.605.577,4	13,6%
Vieja colorada	242.612,6	3,3%	1.497.527,4	5,6%
Pez espada o emperador	159.550,9	2,2%	957.594,5	3,6%
Pargo	148.976,3	2,0%	1.210.141,1	4,6%
Sama de pluma	129.861,0	1,8%	1.124.426,2	4,2%
Chicharro	122.765,8	1,7%	247.526,9	0,03%
Alfonsiño o besugo americano	120.168,2	1,6%	484.686,8	1,8%
Rabil o atún de aleta amarilla	105.830,8	1,4%	277.182,7	1,0%
<b>Total</b>	<b>7.412.577,71</b>	<b>83,18%</b>	<b>26.512.632,7</b>	<b>84,44%</b>

La actividad pesquera del bonito-listado en las aguas de Canarias ha existido durante varios siglos, pero fue en el último cuarto del siglo XX cuando comenzó a desarrollarse comercialmente con la introducción de técnicas de pesca con cebo vivo. Aunque ha habido un aumento en la infraestructura y el volumen de capturas, la actividad en sí misma no ha experimentado cambios significativos en cuanto a tecnología pesquera se refiere (González-Ramos, 1992). La pesca de bonito-listado en Canarias se lleva a cabo en dos tipos de áreas. La

primera corresponde a la flota de bajura, compuesta por barcos de menos de 50 toneladas de registro bruto (TBR), que opera en las aguas costeras del archipiélago. Los principales núcleos pesqueros se distribuyen en todas las islas, especialmente al suroeste de las mismas. Por otro lado, parte de la pesca se realiza en un área geográfica mucho más amplia y alejada del archipiélago por barcos de mayor tamaño y capacidad de pesca, que conforman la flota de altura. Estos barcos industriales realizan campañas de pesca de aproximadamente una semana de duración y operan en áreas como Senegal, Cabo Blanco, la costa Sahariana y las aguas orientales del archipiélago cerca de la plataforma africana. La zona de Cabo Blanco se considera la más productiva, seguida de la costa Sahariana (González-Ramos, 1992).



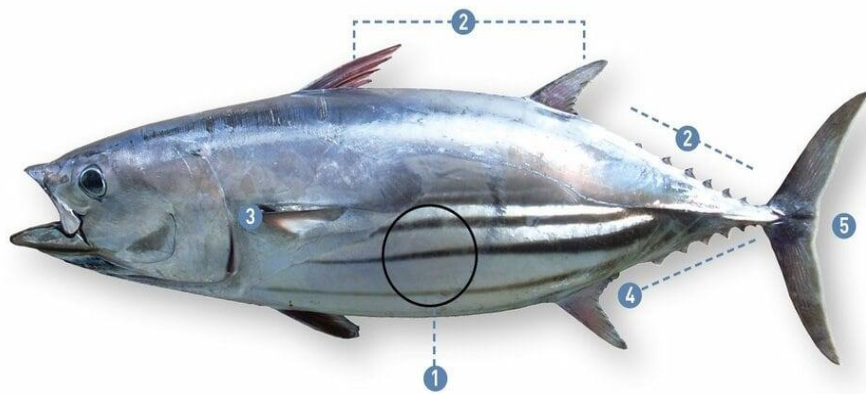
**Figura 1.** Distribución geográfica de las capturas de listado agrupadas por arte empleada y por década (Secretaría de ICCAT).

En general, la pesquería de bonito-listado en Canarias se realiza mediante el uso de cebo vivo con caña, sedal y anzuelo para las especies de hábitos superficiales, como el bonito-listado, o mediante el uso de líneas y anzuelos para capturar especies de hábitos más profundos. El tamaño del cebo utilizado varía entre 6 y 15 cm, dependiendo de la especie que

se quiera capturar, y las especies más utilizadas como cebo son la caballa, güelde blanco, boga y sardinas. El cebo se captura durante la madrugada con un arte de cerco de menor tamaño que el utilizado en la pesca comercial de especies pelágicas costeras. Una vez capturado, se mantiene en depósitos o tanques dispuestos en el centro del barco, con un sistema de circulación de agua permanente. En algunos casos, especialmente en barcos más pequeños, el cebo se mantiene en cestas de mimbre semisumergidas o dentro de pandorgas unidas a la banda del barco (González-Ramos, 1992). Una vez en el caladero, los pescadores se dedican a cebar el bonito-listado, rocían la superficie del mar con un sistema de aspersion a lo largo de la borda. Este sistema tiene varias funciones, como evitar que los atunes vean el barco y el movimiento de los pescadores, simular la perturbación generada por un cardumen de atunes alimentándose para atraerlos y concentrarlos alrededor del barco, aumentar su voracidad y frenesí por el alimento utilizando cebo de diferentes tamaños y evitar que vean los anzuelos. Sin embargo, la efectividad de este último punto es discutible, ya que en ocasiones los pescadores utilizan anzuelos limpios sin cebo debido al frenesí de los atunes, que atacan incluso por el brillo metálico de los anzuelos (González-Ramos, 1992).

### *El bonito listado (Katsuwonus pelamis, Linnaeus, 1758)*

La especie objeto del presente estudio, el bonito listado (*Katsuwonus pelamis*), es un pez perteneciente a la familia Scombridae. Tiene un cuerpo alargado, fusiforme y redondeado, con escasas escamas. Su coloración varía entre el azul y el gris brillante, y presenta líneas negras longitudinales en el vientre. Esta especie se encuentra en los mares tropicales y subtropicales. En las Islas Canarias, se le conoce como bonito, listado o arrayado. En cuanto a su descripción física, alcanza una longitud promedio de 80 cm y un máximo de 1,10 m, con un peso de alrededor de 8 a 10 kg, llegando hasta los 34,5 kg. Solo presenta escamas en el área del corselete, detrás de la cabeza, y alrededor de las aletas pectorales. Posee dos aletas dorsales muy cercanas y un pedúnculo caudal con una quilla central grande en un lado y otra más pequeña en el otro. Su dorso es de color gris-azulado brillante y más claro en el vientre, donde se observan de 4 a 7 líneas negras longitudinales. Es importante destacar que el bonito listado es una de las especies de atún con una esperanza de vida más corta, ya que pocos ejemplares superan los tres años, aunque se ha registrado un máximo de 12 años de vida para esta especie.



**Figura 2.** Cuerpo alargado y redondeado, de coloración dorsal azul oscuro violáceo; lados inferior y vientre plateados, con 4-6 bandas oscuras longitudinales muy visibles. 2. Dos aletas dorsales: la primera con 14-16 espinas; la segunda, con 12-16 radios, seguida de 7-10 pínulas (aletillas). 3. Aletas pectorales pequeñas con 26-32 radios. 4. Aleta anal con 13-17 radios, seguida de 7-8 pínulas. 5. Una fuerte quilla en cada lado de base de la aleta caudal, entre 2 quillas más pequeñas.

El bonito listado es una especie ampliamente distribuida que se encuentra principalmente en aguas tropicales y subtropicales de los tres principales océanos. En el Atlántico Oriental, su distribución abarca desde Irlanda hasta Sudáfrica y desde Canadá hasta el norte de Argentina en el margen occidental del océano (ICCAT, 2009). Esta especie muestra una mayor abundancia durante todo el año en la región ecuatorial y en los trópicos durante la estación cálida. Las diferencias latitudinales observadas en ambos lados del Océano Atlántico están relacionadas con los sistemas de afloramiento en Angola y la Costa Sahariana (ICCAT, 2009), los cuales determinan la concentración de la isoterma límite de distribución del bonito-listado en ambos hemisferios de la vertiente oriental. Es importante destacar que esta especie no está presente en el Mediterráneo Oriental ni en el Mar Negro (Blackburn y Serventy, 1981), posiblemente debido a las condiciones térmicas óptimas para su presencia.

### *El pescado como fuente de ácidos grasos omega-3*

Los lípidos suponen la principal fuente de energía metabólica, proporcionando alrededor del doble de la contenida en proteínas y carbohidratos (Glencross, 2009). Las



funciones biológicas de los lípidos son diversas. En muchos organismos, las grasas neutras, principalmente triacilglicéridos (TRI), son las formas principales de almacenamiento energético, mientras que los fosfolípidos y esteroides constituyen los principales elementos estructurales de las membranas biológicas. Otros derivados lipídicos, como las hormonas esteroideas o los eicosanoides y docosanooides, aun estando presentes en pequeñas cantidades en los organismos, juegan papeles cruciales no sólo en la señalización y regulación de múltiples funciones fisiológicas, sino también como cofactores enzimáticos, transportadores electrónicos, pigmentos que absorben luz, etc. (Nelson y Cox, 2020).

Los ácidos grasos (AG) son los constituyentes mayoritarios de los lípidos. Están formados por una cadena hidrocarbonada con un grupo carboxilo en un extremo y un grupo metilo en el otro, y se clasifican en función de la longitud de la cadena, el número de dobles enlaces o insaturaciones presentes, y la posición de dicha insaturación con respecto al grupo metilo terminal. En función del número de dobles enlaces, los AG pueden ser saturados, monoinsaturados o poliinsaturados, y pueden pertenecer a la serie omega-3 (n-3), omega-6 (n-6), omega-9 (n-9), etc., según la posición de la insaturación en la cadena hidrocarbonada. Los AG poliinsaturados de cadena larga (LC-PUFA), especialmente el ácido docosahexaenoico (DHA; 22:6n-3), el ácido eicosapentaenoico (EPA; 20:5n-3) y el ácido araquidónico (ARA; 20:4n-6), son constituyentes particularmente importantes de los organismos, ya que desempeñan papeles cruciales en procesos fisiológicos vitales (Glencross, 2009). Están implicados en el mantenimiento de la integridad y la fluidez de la bicapa lipídica, la regulación de la homeostasis, la respuesta inmune e inflamatoria, el funcionamiento de muchos órganos, la modulación de la expresión génica, etc. (Pérez et al., 2014). Además, entre las funciones de los LC-PUFA se encuentran la de ser precursores de eicosanoides principalmente proinflamatorios derivados del ARA, o antiinflamatorios que provienen del EPA (Lee et al., 2016). La inflamación es un proceso fisiológico normal del cuerpo en respuesta a lesiones o infecciones, pero si se vuelve crónica puede contribuir al desarrollo de enfermedades cardiovasculares, diabetes o artritis reumatoide entre otras (Zárate et al., 2017). En este sentido, el ratio omega-6/omega-3 en la dieta actual occidental es un tema de preocupación para muchos expertos en nutrición y salud ya que el consumo excesivo de AG omega-6 y la falta de AG omega-3 en la dieta pueden tener efectos negativos en la salud (Simopoulos, 2002).

Los n-3 LC-PUFA son componentes de gran importancia en el desarrollo,

principalmente del cerebro, los ojos y los nervios, y tienen numerosos efectos beneficiosos incluyendo un menor riesgo de padecer cáncer, enfermedades cardiovasculares, trastornos de la piel, ansiedad y estrés, obesidad, inflamación, artritis reumatoide, osteoporosis, asma y alergias (Cortés et al., 2013; Zárate et al., 2017; Roy et al., 2020). Los ácidos grasos omega-3 son una familia de lípidos que incluyen el ácido alfa-linolénico (ALA; 18:3n-3), el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA). El ALA se encuentra principalmente en alimentos vegetales como las nueces y las semillas, mientras que el EPA y el DHA se encuentran en alimentos marinos como el pescado y los mariscos. El ALA se puede convertir en EPA y DHA, aunque esta conversión en humanos es ineficiente. Por lo tanto, el consumo de fuentes directas de EPA y DHA, como el atún, puede ser beneficioso para aumentar los niveles de estos AG en el organismo (Nelson y Cox, 2020).

Las recomendaciones dietéticas van a variar según el estado de salud y condición física de la persona. Los efectos beneficiosos de los n-3 LC-PUFA se obtienen, según las instituciones gubernamentales (GOED, del inglés *Global Organization for EPA and DHA Omega-3*) con dosis que varían de un mínimo de 250 mg hasta 4 g/día. Estas cantidades pueden ser obtenidas mediante el consumo de pescado, mínimo con 2-3 raciones a la semana, asegurando una ingesta dietética mínima de 200 a 500 mg/día de EPA más DHA (Pérez et al., 2014).

### ***La conservación de alimentos por congelación y ultracongelación***

El proceso de congelación implica la transformación del agua en hielo mediante la exposición a temperaturas bajas, y se realiza en varias etapas. En la primera etapa, la temperatura del alimento desciende por debajo de 0°C sin comenzar a congelarse, lo que se conoce como subenfriamiento. A continuación, en la etapa de nucleación, se forman de manera espontánea núcleos de hielo a partir de los cuales se generarán los cristales. Finalmente, durante la etapa de crecimiento de los cristales, estos aumentarán de tamaño hasta que toda el agua presente en el alimento se convierta en hielo. Al completarse el proceso, el alimento alcanzará la temperatura del congelador. La calidad de los alimentos se ve directamente afectada por el proceso de congelación. El tamaño de los cristales de hielo formados es un factor crucial, ya que cuanto más grandes sean, mayor será el daño celular, lo que resultará en cambios en la textura, color, aroma y sabor del alimento, así como en la

pérdida de fluidos durante la descongelación. Para preservar la calidad y prevenir el deterioro del alimento, es ideal congelarlo de manera rápida, ultracongelación, preferiblemente en un lapso de 30 minutos a una temperatura por debajo de  $-20^{\circ}\text{C}$ . En la congelación rápida, se forman numerosos núcleos de hielo, lo que resulta en cristales intracelulares de tamaño reducido. En cambio, en la congelación lenta (que suele ocurrir en congeladores domésticos, donde se alcanza la temperatura programada en 3-72 horas), se forman menos núcleos de hielo y, por ende, los cristales serán de mayor tamaño (Jay, 2009). El principal beneficio de la congelación en los alimentos es su capacidad para prolongar su vida útil. Durante la congelación, las reacciones enzimáticas que deterioran los alimentos y el crecimiento de los microorganismos se reducen e incluso se detienen por completo. Las bajas temperaturas ralentizan o inactivan la actividad enzimática, y al convertirse en hielo, la cantidad de agua disponible para que los microorganismos lleven a cabo las reacciones químicas necesarias para desarrollarse disminuye significativamente. Esto implica que los alimentos no se vean expuestos de la misma manera a los procesos que ocurren rápidamente a temperaturas más altas, como la oxidación de las grasas, la descomposición o la contaminación microbiológica hasta niveles peligrosos para la salud (Jay, 2009).

## 4. *Objetivos*

El presente estudio pretende determinar el valor nutricional de lomos y ventrescas de bonito listado (*Katsuwonus pelamis*), con especial atención en su perfil lipídico y contenido en AG omega-3 y determinar el efecto del método de conservación (fresco, congelado y ultracongelado) en la calidad nutricional de los mismos.

Para la consecución de este objetivo, se abordaron los siguientes objetivos específicos:

1. Determinar la cantidad y calidad de los lípidos, especialmente de ácidos grasos de la serie n-3, en el músculo del bonito listado (*K. plamis*).
2. Comparar el perfil lipídico en fresco, congelado y ultracongelado, tanto de lomo como de ventresca.
3. Comparar el perfil lipídico del lomo y ventresca fresca.

## 5. Material y Métodos

### 5.1. Diseño experimental

Se analizaron lomos y ventrescas de bonito listado (*K. pelamis*) de entre 3 y 10 kg de peso, capturadas por cinco barcos diferentes de la flota atunera de Tenerife con base en la Dársena Pesquera de Santa Cruz de Tenerife (Figura 3). De cada barco se obtuvo una pieza de lomo y otra de ventresca. El procesado de los atunes para la obtención de las muestras fue llevado a cabo en las instalaciones de Islatuna, una organización de Productores de Túnidos y Pesca Fresca de la Isla de Tenerife, localizadas en la Dársena Pesquera de Santa Cruz de Tenerife. Para determinar el efecto del tipo de conservación en el perfil lipídico de los lomos, estos fueron divididos en 3 partes. Una parte del lomo fue ultracongelada, otra fue sujeta a un proceso de congelación lento y la tercera parte fue analizada en fresco, llevándose a cabo el análisis pocas horas después del desembarque y procesamiento del pescado. Debido al reducido tamaño de las ventrescas, solo se procedió a su análisis en fresco y congelado lento. En total se obtuvieron para el análisis, 25 muestras de bonito listado: 15 muestras de lomo (5 fresco, 5 congelado y 5 ultracongelado) y 10 muestras de ventresca (5 fresco y 5 congelado).



**Figura 3.** Buque Katimade. Eslora total 13,85 m, Potencia 22,06 kW (30,0 CV)

## ***5.2. Análisis bioquímicos***

Los análisis de contenido y perfil lipídicos de las diferentes muestras, se llevaron a cabo en el Laboratorio del grupo de investigación NUTRAHLIPIDS (Fisiología de los Lípidos y sus Derivados en la Alimentación Animal y Humana), perteneciente al Departamento de Biología Animal, Edafología y Geología, Sección de Biología de la Facultad de Ciencias de la Universidad de La Laguna (<https://portalciencia.ull.es/grupos/6273/detalle>).

### ***Determinación de humedad***

Para la determinación del porcentaje de humedad de las muestras, se pesaron aproximadamente 400 mg de tejido que se mantuvieron durante un mínimo de 24 horas en una estufa a 110°C. Después se atemperan las muestras en un desecador al vacío y se pesaron nuevamente para obtener el porcentaje de humedad, según la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = (\text{masa muestra} - \text{masa muestra seca}) \times 100 / \text{masa muestra}$$

### ***Extracción de lípidos***

La extracción de lípidos se realizó según la modificación de Christie (2003) sobre el método descrito por Folch et al. (1957). Las muestras se mantuvieron en hielo durante todo el proceso para evitar en lo posible su degradación y oxidación de los lípidos. Se tomó una muestra de 300 mg aproximadamente de cada pieza de atún y se homogeneizaron en un homogeneizador (Virtishear homogenizer, Virtis Company, NY, USA) con 10 mL de cloroformo:metanol (CL:MET 2:1 v/v). Se filtró el homogenizado obtenido con un filtro de papel de 14-18 µm de poro previamente lavado con CL:MET. Se añadieron 2,5 mL de cloruro potásico (KCl al 0,88% w/v) para la separación de la fase hidrosoluble, donde han quedado las proteínas, de la fase liposoluble que contiene los lípidos. Se centrifugaron las muestras a 1500 rpm durante 5 minutos y se recuperó la fase liposoluble en un tubo limpio. Después se evaporó el solvente en atmósfera de nitrógeno para evitar la oxidación de los lípidos. El extracto seco resultante, se disolvió en 1 mL de CL:MET 2:1 v/v y se transfirió a viales de cristal de 1,5 mL de volumen previamente pesados. El solvente fue evaporado una vez más con nitrógeno y cuando seco, los viales se colocaron en el desecador al vacío y en oscuridad, para eliminar cualquier resto de humedad o solvente, presente en el extracto lipídico. Al día siguiente se pesaron los viales, y

por diferencia de pesada se determinó el contenido lipídico de las muestras. Para facilitar el análisis posterior de las muestras, estas se conservaron a una concentración de 10 mg/mL en CL:MET (2:1, v/v), con 0,01% de butilhidroxitolueno (BHT) como antioxidante y en una atmosfera de nitrógeno. Las muestras se almacenaron a -20°C hasta la realización de los análisis de determinación de la composición en clases lipídicas y perfil ácidos grasos.

### ***Determinación de la composición en clases lipídicas***

Para la separación de las clases lipídicas (CL), se utilizó el método de doble desarrollo, unidireccional descrito por Olsen y Henderson (1989) en cromatografía en capa fina de alta resolución (HPTLC). Se usaron placas de sílica gel de 10cm x 10cm x 0,15mm, las cuales fueron lavadas con dietil éter y activadas en una estufa a 110°C durante 30 minutos antes de su uso. Se cargaron entre 6 muestras en cada placa (2 µL de muestra en 2 mm), además de un control (zona de la placa sin muestra) y un estándar de composición lipídica conocida (en este caso extracto lipídico de huevo de bacalao), utilizando una pipeta Hamilton de 10 µL. Para separar los lípidos polares (LP), se utilizó una solución de isopropanol : cloroformo : metilacetato : metanol : cloruro potásico al 0,25% (5:5:5:2:1,8 v/v), mientras que para la separación de los lípidos neutros (LN) se empleó una solución de hexano : dietiléter : ácido acético (20:5:0,5 v/v). Las placas se desarrollaron hasta el punto medio y hasta la parte superior, respectivamente. Entre desarrollos se dejó secar la placa bajo campana extractora durante 3 minutos y en un desecador durante 10 minutos. Finalmente, las placas se tiñeron homogéneamente con un reactivo que contenía 3% de acetato cúprico y 8% de ortofosfórico y se quemaron en una estufa a 160°C durante 10 minutos para revelar las distintas CL. Se llevó a cabo el escaneo de las placas en el CAMAG TLC visualizer (CAMAG, Muttentz, Suiza) y, posteriormente, se analizaron las bandas de las distintas CL mediante densitometría utilizando el software winCATS, versión 1.4.4. La proporción de cada CL fue obtenida a través del procesamiento de las bandas utilizando el software VideoScan, versión 1.02.

### ***Determinación del perfil de ácidos grasos***

Se procedió a la transmetilación del extracto lipídico para obtener ácidos grasos libres unidos a un grupo metilo (-CH<sub>3</sub>), o sea, ésteres metílicos de ácidos grasos (FAMES, del inglés

*Fatty Acid Methyl Esters*) que son volátiles y pueden ser separados y detectados por cromatografía de gases (Christie, 2003). Para ello se utilizó 1 mg de extracto lipídico, al cual se añadió un 5% de 19:0 usado como estándar interno. El solvente se evaporó bajo atmósfera de nitrógeno y cuando seco, se añadió 1 mL de tolueno y 2 mL de ácido sulfúrico al 1% en metanol al extracto, dejando reaccionar en un bloque calefactor a 50°C durante 16 horas en presencia de nitrógeno. Posteriormente se añadieron 5 mL de hexano : dietiléter (1:1, v/v) con 0,01% de BHT y 2 mL de bicarbonato potásico (KHCO<sub>3</sub>) al 2% para eliminar los elementos hidrosolubles mediante agitación y centrifugación a 1500 rpm durante 5 minutos. Recuperamos la fase orgánica con los ácidos grasos metilados y añadimos otros 5 mL de hexano : dietiléter (1:1, v/v) pero esta vez sin BHT. Este segundo lavado permite a recuperación de todos los FAMES. Se evaporó el solvente de los dos lavados con nitrógeno y posteriormente se añadieron 100 µL de hexano para proceder a la purificación por cromatografía en capa fina (TLC) de los FAMES. En cada placa además de las muestras, se cargó un estándar externo para ayudar a determinar la posición de los FAMES en la placa. Las placas de TLC de 20 cm x 20 cm x 0,25 mm (Macherey-Nagel, Düren, Alemania) se desarrollan hasta 1 cm de la parte superior de la placa, en cubetas de cristal con una solución de hexano : dietiléter : ácido acético (90:10:1 v/v/v). Una vez desarrollada la placa y seca bajo campana extractora, se tiñó con iodina al 1% la zona correspondiente al estándar (protegiendo las muestras con un cristal), de manera a localizar la posición de los FAMES en la placa. Los FAMES se extrajeron de la placa rascando la sílice de la zona identificada y se introdujeron en un tubo de ensayo donde se añadieron 8 mL de hexano : dietiléter (1:1, v/v) sin 0,01% de BHT y 2 mL de hexano : dietiléter (1:1, v/v) con BHT. Tras agitar y centrifugar a 1500 rpm durante 5 minutos, se evaporó el solvente con nitrógeno, y se transfirió el contenido a un vial usando 1 mL de hexano calidad HPLC. Los viales se almacenaron a -20 °C con atmósfera de nitrógeno hasta realizar la cromatografía de gases para lo cual utilizaremos el cromatógrafo de gases TRACE-GC (Thermo Scientific) equipado con inyección en columna y detector de ionización de llama.

### ***Índices de calidad de los lípidos***

Para determinar el efecto de las distintas formas de conservación en el valor nutricional de los lomos y ventrescas de atún en cuanto a composición de AG, se calcularon

tres índices de calidad diferentes:

(1) Índice de aterogenicidad (IA): El IA indica la relación entre la suma de los ácidos grasos saturados, considerados proaterogénicos (favorecen la adhesión de lípidos a las células del sistema circulatorio) y la suma de los ácidos grasos insaturados, considerados antiaterogénicos. (Chen & Liu, 2020)

$$IA = [C12:0 + (4 \times C14:0) + C16:0] / (\Sigma \text{ MUFA} + \Sigma \text{ n-6 PUFA} + \Sigma \text{ n-3 PUFA})$$

(2) Índice de trombogénicidad (IT): El IT caracteriza el potencial trombogénico de los ácidos grasos, lo que indica su tendencia a formar coágulos en los vasos sanguíneos, y proporciona la contribución de diferentes ácidos grasos, lo que denota la relación entre los ácidos grasos pro-trombogénicos (C12:0, C14:0 y C16:0) y los ácidos grasos anti-trombogénicos (MUFAs y las familias n-3 y n-6) (Chen & Liu, 2020).

$$IT = (C14:0 + C16:0 + C18:0) / [(0,5 \times \Sigma \text{ MUFA}) + (0,5 \times \Sigma \text{ n-6 PUFA} + 3 \times \Sigma \text{ n-3 PUFA}) + (\text{n-3 PUFA}/\text{n-6 PUFA})]$$

(3) Calidad de los lípidos de la carne (FLQ): es la relación en porcentaje en la que aparecen los principales n-3 LC-PUFA (EPA y DHA) con respecto a la totalidad de los ácidos grasos. Un FLQ alto, indica mayor valor nutricional del pescado (Chen & Liu, 2020).

$$FLQ = 100 \times (22:6 \text{ n} - 3 + C20:5 \text{ n} - 3) / \Sigma \text{FA}$$

### *Análisis estadístico*

En este estudio comparamos el contenido lipídico, composición en clases lipídicas, perfil de AG e índices de calidad lipídica de tres métodos de conservación en atunes pescados en Canarias: fresco, congelado y ultracongelado. Para ello, realizamos un ANOVA comparando los datos de lomo y una t-Student para comparar los datos de las ventrescas, ya



que como previamente mencionado, de estas no se dispuso de muestras ultracongeladas. Antes de comparar las medias obtenidas se verificó la normalidad de la distribución de los datos mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, y la homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene. En caso de que los datos no cumplieren la presunción de normalidad se realizó una transformación a través de la raíz cuadrada del arcoseno o por el logaritmo en base 10. Una vez que se verificó estas suposiciones, se realizó el ANOVA seguido del test de Tukey para determinar las diferencias significativas entre las muestras de lomo. La comparación de medias de la muestra de ventresca se llevó a cabo utilizando una t-Student. En todos los casos, la significación estadística establecida fue  $p < 0,05$ . Si con las transformaciones los valores no adquieren la condición de normalidad, se les realizó un test no paramétrico. Para el estudio estadístico se utilizó el Software IBM© SPSS Statistics 25.0 (IBM Corp., Nueva York, USA) para Windows.

## 6. Resultados y discusión

### 6.1 Contenido de lípido total y humedad

Los valores de lípido total (LT) y humedad (H) de las muestras de lomo y ventresca de *K. pelamis* analizadas en el presente trabajo, figuran en las Tablas 2 y 3, respectivamente. El LT y el % H de los lomos de bonito analizados, no se vieron afectados por el método de conservación al que fueron sujetos, ya que no se detectaron diferencias entre tratamientos ( $p < 0,05$ )

**Tabla 2.** Valores de lípido total (g de lípido/100 g de lomo) y humedad (%) de lomo de *Katsuwonus pelamis*.

	Fresco	Congelado	Ultracongelado
% Humedad	71,22 ± 2,10	72,78 ± 2,26	72,58 ± 1,56
Lípido total	2,65 ± 1,78	2,12 ± 0,69	1,89 ± 0,56

Los resultados se expresan como media ± desviación estándar (n=5).

De manera similar, en las ventrescas analizadas no se observaron diferencias significativas entre los distintos tratamientos, encontrado un porcentaje de humedad alrededor del 70% y un contenido lipídico aproximado de 5 g por cada 100 g de ventresca.

**Tabla 3.** Valores de lípido total (g de lípido/100 g de lomo) y humedad (%) de ventresca de *Katsuwonus pelamis*.

	Fresco	Congelado
% Humedad	70,36 ± 3,55	69,18 ± 5,77
Lípido total	4,27 ± 2,70	5,78 ± 3,93

Los resultados se expresan como media ± desviación estándar (n=5).

Cuando se comparó el aporte de lípido total de las piezas en fresco de lomo con las de ventresca, no se observaron diferencias significativas entre ambas, debido a la variabilidad de los resultados, típica de los ejemplares salvajes. Sin embargo, los valores medios difieren bastante en este aspecto ya que la ventresca supera en tres puntos los valores de lípido del lomo (5,03 g vs 2,22 g, respectivamente), por lo que, en promedio, el lomo sólo tendría un 44% de la cantidad de lípido presente en la ventresca. Para una persona en buen estado de salud que lleva una dieta de 2000 kcal, una pieza de bonito aportaría cerca del entre el 1,2% y el 1,7%

de las necesidades diarias de grasas (García Gabarra et al., 2017). Esto lo hace perfectamente apto en las elaboraciones de menús donde se busca una buena fuente de grasa.

## 6.2. Composición en clases lipídicas

La composición en CL de las muestras de lomo y ventresca de *K. pelamis* analizadas en el presente trabajo se presentan en las Tablas 4 y 5, respectivamente.

**Tabla 4.** Clases lipídicas (% del lípido total) en el lomo de *Katsuwonus pelamis*.

	Fresco	Congelado	Ultra congelado
Lisofosfatidilcolina	1,33 ± 0,73	1,54 ± 0,41	1,29 ± 0,39
Esfingomielina	0,78 ± 0,33	0,54 ± 0,16	1,05 ± 0,38
Fosfatidilcolina	6,87 ± 2,97	7,68 ± 2,07	5,10 ± 2,39
Fosfatidilserina	0,97 ± 0,51	0,80 ± 0,09	0,48 ± 0,13
Fosfatidilinositol	1,13 ± 0,47 a	0,56 ± 0,13 b	0,56 ± 0,27 b
Fosfatidilglicerol	0,97 ± 0,32 a	0,83 ± 0,21 ab	0,51 ± 0,13 b
Fosfatidiletanolamina	1,72 ± 0,97	1,85 ± 0,48	1,00 ± 0,63
<b>Lípidos Polares</b>	<b>13,77 ± 5,79</b>	<b>13,81 ± 2,61</b>	<b>10,00 ± 4,10</b>
Mono y Diglicéridos	14,19 ± 1,41 b	17,64 ± 2,34 b	22,43 ± 4,08 a
Colesterol	10,68 ± 5,28	10,84 ± 3,90	11,10 ± 4,95
Ác. Grasos Libres	6,63 ± 3,04 b	14,99 ± 3,52 a	22,68 ± 6,71 a
Desconocido	3,55 ± 1,00 a	2,74 ± 0,98 a	1,11 ± 0,28 b
Triglicéridos	48,20 ± 12,95	34,75 ± 11,30	30,47 ± 15,06
Ésteres De Esterol	2,97 ± 1,2 ab	5,22 ± 1,64 a	2,21 ± 1,06 b
<b>Lípidos Neutros</b>	<b>86,22 ± 5,80</b>	<b>86,19±2,61</b>	<b>90,00 ± 4,10</b>

Los resultados se expresan como media ± desviación estándar (n=5). Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0,05) mediante ANOVA y test Tuckey.

En las piezas de lomo podemos observar que los lípidos neutros (TNL) son los más abundantes independientemente del tipo de conservación, representando entre el 86 y el 90% de los lípidos totales. Otro factor importante a destacar son las desviaciones obtenidas. Hay que tener en cuenta que para este estudio se analizaron individuos salvajes y que por lo tanto las variaciones observadas, son normales para este tipo de muestras, ya que cada animal, se alimenta y desarrolla de manera diferenciada. Dentro de los lípidos neutros se destaca, el valor de triglicéridos (TRI), correspondiendo entre 30 y 48% del LT y los valores de mono y

diglicéridos (AGP) y ácidos grasos libres (AGL). De modo interesante, cabe destacar los valores de AGP, que varían según el tipo de procesado, observándose menor cantidad en las piezas de lomo frescas (14,2%), aumentando en diferente medida en las piezas congeladas (17,6%) y ultracongeladas (22,4%), si bien sólo en este último caso es estadísticamente significativa la diferencia ( $p < 0,05$ ). Con los AGL ocurre algo parecido, aunque en este caso la diferencia es estadísticamente significativa entre la media de lomo fresco (6,6%) frente a congelado (15%) y ultracongelado (22,7%;  $p < 0,05$ ). Estos datos concuerdan con los obtenidos en los TRI, que varían de manera inversa a los anteriores, presentando un mayor contenido en las piezas de lomo fresco (48,2%), frente al congelado (34,8%) y al ultracongelado (30,5%). Si bien las diferencias no son estadísticamente significativas en el caso de los TRI, por la alta variabilidad entre los ejemplares salvajes, al analizar los datos en conjunto, parece congruente pensar que lo que se observa en este estudio, es una degradación de los TRI por acción de las lipasas durante el periodo de almacenaje/congelado, ya que este proceso no inactiva la actividad de estas enzimas. Así durante el tiempo de almacenaje/congelado las lipasas siguen actuando, hidrolizando uno o más de los AG esterificados en los triglicéridos, formando a su vez AGP y AGL, tal y como observado en este estudio. En una primera aproximación podemos interpretar que al congelar o ultracongelar los lomos de bonito listado, se produce una oxidación de los lípidos. Esto debe corroborado con más estudios.

Dentro de los lípidos polares (TPL) destaca la fosfatidilcolina (FC) por ser la clase más abundante en los tres tratamientos, sin apreciarse diferencias significativas entre ellos. Donde sí hay diferencias es en el fosfatidilinositol que está en mayor cantidad en el lomo fresco (1,1%) frente a congelado y ultracongelado (0,6% en ambos). También existen diferencias en la cantidad de fosfatidilglicerol, con valores más altos en lomo fresco (0,97%) frente a ultracongelado (0,5%). Entre fresco y congelado (0,8%), así como entre congelado y ultracongelado, no hay diferencias significativas.

En la Tabla 5 vemos la comparativa entre piezas de ventresca fresca y congelada donde, al igual que en las piezas de lomo, los TNL están presentes en mayor cantidad, representando un 84% del LT en la ventresca fresca y un 91% del TL en la ventresca congelada. Dentro de estos sólo existen diferencias significativas en los ésteres de esterol, con un 5,26% en la ventresca fresca y un 2,51% en la congelada. En cuanto a los lípidos polares, al igual que en el lomo, el más abundante es la fosfatidilcolina tanto en fresco como

congelado, no existiendo diferencias significativas entre ellos. Donde sí existen diferencias es en las cantidades de fosfatidilglicerol (FG), más abundante en fresco (0,9%) que congelada (0,4%).

**Tabla 5.** Clases lipídicas (% del lípido total) en ventresca de *Katsuwonus pelamis*

	Fresco	Congelado
Lisofosfatidilcolina	1,71 ± 2,04	1,40 ± 1,34
Esfingomielina	1,19 ± 1,35	0,74 ± 0,42
Fosfatidilcolina	7,15 ± 7,40	3,74 ± 2,53
Fosfatidilserina	0,75 ± 0,90	0,50 ± 0,32
Fosfatidilinositol	1,65 ± 1,77	0,89 ± 0,96
Fosfatidilglicerol	0,92 ± 0,81	0,39 ± 0,15 *
Fosfatidiletanolamina	2,55 ± 3,94	1,23 ± 1,15
<b>Lípidos Polares</b>	<b>15,92 ± 18,16</b>	<b>8,89 ± 6,63</b>
Mono y Diglicéridos	10,18 ± 4,68	13,26 ± 3,41
Colesterol	9,25 ± 4,28	8,22 ± 5,44
Ác. Grasos Libres	6,24 ± 2,75	10,04 ± 6,29
Desconocido	3,09 ± 1,40	2,20 ± 0,71
Triglicéridos	50,07 ± 20,18	54,88 ± 21,12
Ésteres De Esterol	5,26 ± 0,80	2,51 ± 0,90 *
<b>Lípidos Neutros</b>	<b>84,08 ± 18,16</b>	<b>91,11 ± 6,63</b>

Los resultados se expresan como media ± desviación estándar (n=5). Asteriscos indican diferencias significativas (p<0,05).

### Perfiles de ácidos grasos

Al analizar los AG presentes en el lomo de *K. pelamis* no hemos encontrado diferencias significativas entre los distintos tipos de conservación (Tabla 6). Sólo se ha encontrado diferencias en la relación DHA/EPA, que ha resultado mayor en las muestras congeladas (7,4) y ultracongeladas (7,6), que en las frescas (5,9) (p<0,05). Los lomos de Bonito, de manera general presentan un contenido en ácidos grasos saturados (SFA) de alrededor del 35,5% del total de AG, mientras los ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) representan el 23,9% del total de AG y los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) un 28,5% del total de AG. Dentro de los PUFA, los AG omega-6 representan un 4,4% del total de AG, destacando dentro de estos, el ácido linoleico (LA; 18:2n-6) con un 1,41% del total de AG y el ARA, con un 1,24% del total de AG.

**Tabla 6.** Contenido total de ácidos grasos (mg/100g de peso fresco) y su composición principal (% de AG totales) en el lomo de *Katsuwonus pelamis*.

Ácidos grasos	Fresco	Congelado	Ultracongelado
14:0	2,93 ± 0,78	2,76 ± 0,53	2,56 ± 0,70
16:0	19,98 ± 1,20	18,79 ± 0,99	19,11 ± 1,31
18:0	9,33 ± 2,46	10,54 ± 2,22	11,20 ± 3,29
Total SFA	35,10 ± 3,16	35,31 ± 2,85	36,15 ± 4,19
16:0 DMA	0,55 ± 0,42	0,69 ± 0,31	0,73 ± 0,39
18:0 DMA	0,40 ± 0,32	0,23 ± 0,22	0,34 ± 0,21
Total DMA	0,95 ± 0,73	0,92 ± 0,51	1,08 ± 0,57
16:1n-9	0,53 ± 0,07	0,53 ± 0,02	0,50 ± 0,03
16:1n-7	3,07 ± 0,65	2,77 ± 0,45	2,73 ± 0,51
18:1n-9	14,68 ± 2,28	14,40 ± 1,61	14,51 ± 1,40
18:1n-7	2,48 ± 0,17	2,46 ± 0,22	2,60 ± 0,31
Total MUFA	24,14 ± 3,53	23,71 ± 2,76	23,94 ± 2,53
18:2n-6 (LA)	1,50 ± 0,20	1,38 ± 0,17	1,36 ± 0,13
20:2n-6	0,42 ± 0,02	0,40 ± 0,03	0,41 ± 0,01
20:4n-6 (ARA)	1,26 ± 0,23	1,25 ± 0,19	1,22 ± 0,11
22:4n-6	0,22 ± 0,15	0,15 ± 0,21	0,32 ± 0,02
22:5n-6	1,09 ± 0,05	1,19 ± 0,08	1,15 ± 0,15
Total n-6 PUFA	4,48 ± 0,23	4,37 ± 0,29	4,45 ± 0,25
18:3n-3 (ALA)	0,48 ± 0,12	0,47 ± 0,06	0,47 ± 0,08
20:5n-3 (EPA)	3,05 ± 0,50	2,58 ± 0,32	2,45 ± 0,75
22:5n-3 (DPA)	1,17 ± 0,31	1,24 ± 0,21	1,14 ± 0,35
22:6n-3 (DHA)	17,70 ± 1,52	18,94 ± 1,02	18,15 ± 3,97
Total n-3 PUFA	23,37 ± 3,03	24,04 ± 2,03	23,09 ± 5,45
Total PUFA	28,58 ± 3,28	28,99 ± 2,04	28,10 ± 5,71
Total n-3 LC-PUFA	22,29 ± 2,50	23,07 ± 1,68	22,05 ± 5,18
n-6/n-3	0,19 ± 0,02	0,18 ± 0,03	0,20 ± 0,04
DHA/EPA	5,87 ± 0,54	7,40 ± 0,60	7,61 ± 0,99
ARA/EPA	0,43 ± 0,16	0,50 ± 0,14	0,55 ± 0,20
EPA+DHA	20,75 ± 2,01	21,52 ± 1,30	20,60 ± 4,69
TOTAL FA mg/100g	1185,15 ± 834,35	1327,21 ± 546,84	1116,92 ± 604,05

Los resultados se expresan como media ± desviación estándar (n=5). SFA: ácidos grasos saturados, MUFA: ácidos grasos monoinsaturados, PUFA: ácidos grasos poliinsaturados, LC-PUFA: ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, n-3: serie ω3, n-6: serie ω6. Los sumatorios incluyen ciertos ácidos grasos menores no presentados. Letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (p<0,05).

**Tabla 7.** Contenido total de AG (mg/100g de peso fresco) y composición principal de AG (% de AG totales) en piezas de ventresca de *Katsuwonus pelamis*.

Ácidos grasos	Fresco	Congelado
14:0	4,23 ± 0,80	4,25 ± 0,35
16:0	18,59 ± 0,60	18,20 ± 0,85
18:0	6,70 ± 1,47	6,45 ± 1,06
Total SFA	32,16 ± 1,44	31,70 ± 1,83
16:1n-9	0,58 ± 0,19	0,58 ± 0,05
16:1n-7	3,69 ± 0,37	3,85 ± 0,35
18:1n-9	16,23 ± 1,09	15,39 ± 0,40
18:1n-7	2,15 ± 0,30	2,42 ± 0,21
Total MUFA	26,76 ± 1,09	26,64 ± 1,00
18:2n-6 (LA)	1,63 ± 0,03	1,51 ± 0,12
20:2n-6	0,41 ± 0,00	0,39 ± 0,03
20:4n-6 (ARA)	1,08 ± 0,10	1,00 ± 0,11
22:4n-6	0,30 ± 0,04	0,31 ± 0,04
22:5n-6	1,19 ± 0,12	1,07 ± 0,13
Total n-6 PUFA	4,69 ± 0,21	4,27 ± 0,40
18:3n-3 (ALA)	0,59 ± 0,05	0,60 ± 0,03
20:5n-3 (EPA)	4,04 ± 0,50	3,84 ± 0,39
22:5n-3 (DPA)	1,68 ± 0,08	1,57 ± 0,11
22:6n-3 (DHA)	20,46 ± 0,76	19,40 ± 0,83
Total n-3 PUFA	28,37 ± 1,45	26,93 ± 1,22
Total PUFA	34,01 ± 1,48	31,89 ± 1,31
Total n-3 LC-PUFA	26,75 ± 1,31	25,38 ± 1,24
n-6/n-3	0,17 ± 0,02	0,16 ± 0,02
DHA/EPA	5,11 ± 0,49	5,09 ± 0,47
ARA/EPA	0,27 ± 0,06	0,26 ± 0,05
EPA+DHA	24,50 ± 1,25	23,24 ± 1,08
TOTAL AG mg/100g	5834,9 ± 3441,0	5327,0 ± 2901,6

Los resultados se expresan como media ± desviación estándar (n=5). SFA: ácidos grasos saturados, MUFA: ácidos grasos monoinsaturados, PUFA: ácidos grasos poliinsaturados, LC-PUFA: ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, n-3: serie ω3, n-6: serie ω6. ND: ácido graso no detectado. Sumatorios incluyen datos no presentados. Asteriscos (\*) indican diferencias significativas (p<0,05).

Por otra parte, dentro de los AG omega-3, que representan alrededor del 23,5% del total de AG, destacan el contenido en DHA (18,26% del total de AG) y de EPA (2,69% del total de AG), siendo el sumatorio entre estos dos AG de un 21% de los ácidos grasos AG totales, lo que representa una fuente importante de estos AG, esenciales para el correcto desarrollo, funcionamiento y bien estar de la población.

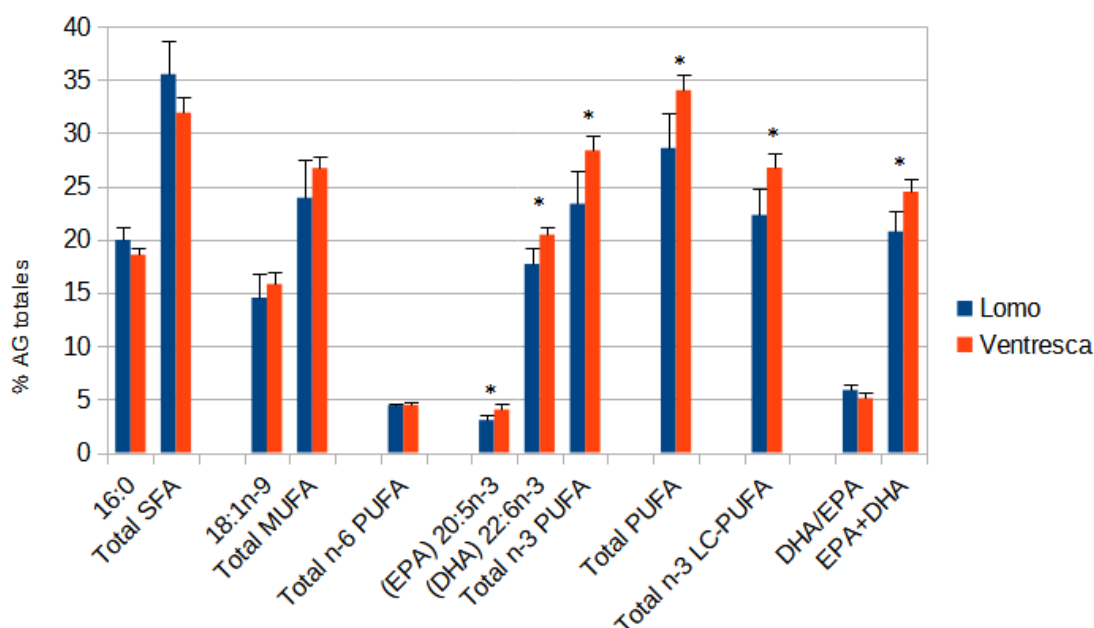
Tampoco se han encontrado diferencias significativas entre el tipo de conservación en la cantidad de los AG en la ventresca de *K. pelamis*. En las ventrescas, los SFA representan alrededor del 31,93% del total de AG, los MUFA alrededor del 26,70% del total de AG y los PUFA 32,95% del total de AG. Dentro de los PUFA, los AG omega-6 representan un 4,48%, presentando valores de LA de 1,57% del total de AG y de ARA de 1% del total de AG, mientras que los n-3 LC-PUFA representan un 26,06% del total de AG, con el sumatorio EPA+DHA, aportando 23,9% del total de AG.

En la gráfica 1 podemos ver que la proporción de SFA en lomo es mayor que en ventresca. Mientras los MUFA y los PUFA, se presentan en mayor proporción en la ventresca. Se observan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el total de PUFA, n-3 PUFA y en n-3 LC- PUFA. Dentro de estos últimos, se observan diferencias entre los AG más importantes a nivel nutricional (EPA y DHA), así como en la suma de ambos.

Los ácidos grasos omega-3 tienen propiedades antiinflamatorias pudiendo reducir la inflamación crónica en el cuerpo, lo que a su vez puede reducir el riesgo de enfermedades crónicas. Según un estudio publicado en el Journal of Lipid Research, los ácidos grasos omega-3 pueden modular la inflamación a nivel molecular, inhibiendo la producción de moléculas inflamatorias como el factor de necrosis tumoral y las interleucinas 1 y 6 (Calder, 2012). Ayudando además a combatir un variado abanico de patologías estrechamente relacionadas con la dieta proinflamatoria, enfermedades cardiovasculares, diabetes mellitus, trombosis, asma y depresión (Giugliano et al., 2006). Sin embargo, aunque el ser humano es capaz de sintetizar endógenamente EPA y DHA a partir de sus precursores, ALA y LA (estos sí son estrictamente esenciales), esta capacidad biosintética no es del todo eficiente a la hora de proporcionar niveles LC-PUFA omega-3, necesarios para un correcto desarrollo, siendo consecuentemente necesaria su ingesta a través de la dieta (Plourde y Cunnane, 2007).



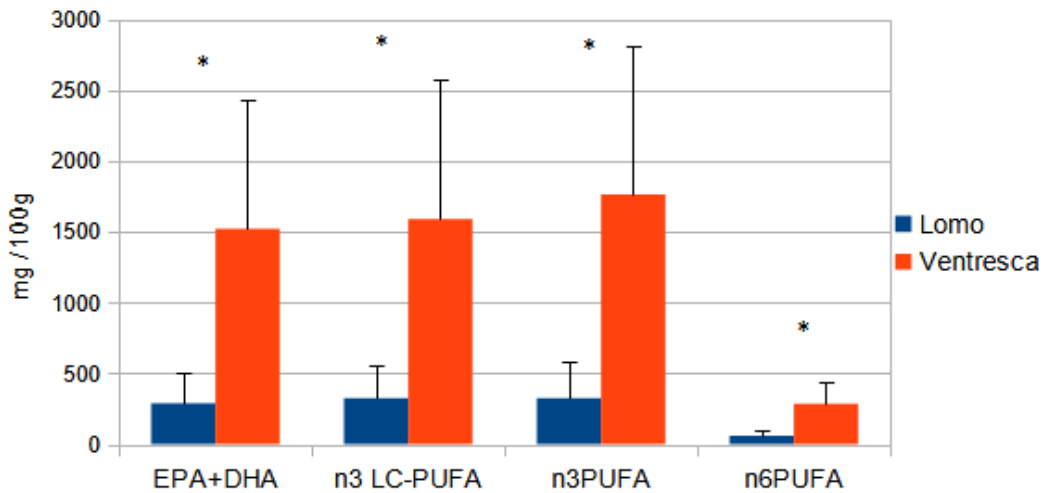
**Gráfica 1.** Valores medios de los principales AG (% sobre el total de AG) en piezas de lomo y ventresca de *Katsuwonus pelamis*.



Los resultados se expresan como media  $\pm$  desviación estándar (n=5). SFA: ácidos grasos saturados, MUFA: ácidos grasos monoinsaturados, PUFA: ácidos grasos poliinsaturados, LC-PUFA: ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, n-3: serie  $\omega$ 3, n-6: serie  $\omega$ 6. Sumatorios incluyen datos no presentados. Asteriscos (\*) indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

En la gráfica 2 se presentan los valores nutricionales del lomo y la ventresca de bonito listado, en valor absoluto, esto es, los valores de AG en mg por cada 100 g de cada lomo o ventresca. Entre las diferentes piezas se observó un mayor contenido de EPA + DHA en las ventrescas con valores de 1441,37 mg/100g ( $\pm$  806,39 mg) en estas, frente a los 289,51 mg/100g ( $\pm$ 162,91 mg) encontrados en el lomo. La mayoría de los organismos de salud sitúa las recomendaciones de consumo de entre 250 y 1000 mg de EPA+DHA por día para adultos, de manera a mantener la salud y el bienestar. Concretamente, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) junto con la Organización Mundial de la Salud (WHO), y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) recomiendan una ingesta diaria de EPA+DHA de al menos 250 mg. Según los datos de este estudio, con un consumo de 100 g de lomo de bonito listado se cumplen estas recomendaciones mínimas ya que aporta de media 289,51 mg. Con 100 g de ventresca, superaríamos incluso las recomendaciones de consumo más altas ya que alcanzaría los 1441,37 mg de EPA + DHA.

**Gráfica 2.** Comparativa de los principales AG (mg/100g músculo) de ventresca y lomo de *Katsuwonus pelamis*.



Los resultados se expresan como media  $\pm$  desviación estándar (n=5). PUFA: ácidos grasos poliinsaturados, LC-PUFA: ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, n-3: serie  $\omega$ 3, n-6: serie  $\omega$ 6. Asteriscos (\*) indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

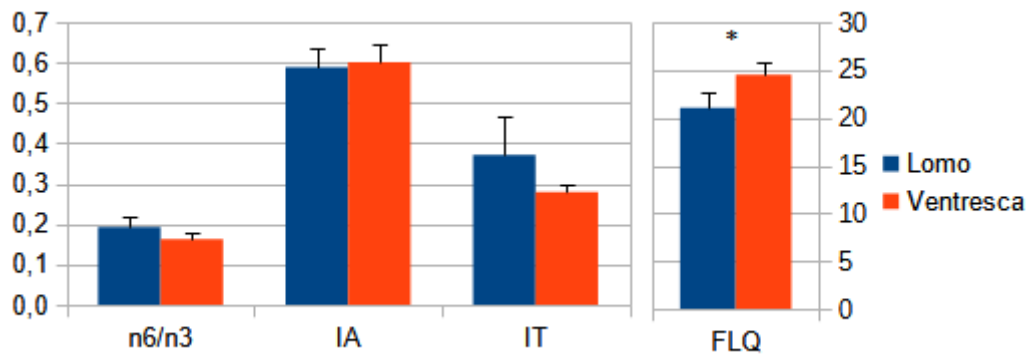
Los AG omega-3 son fundamentales en el desarrollo de la visión y del cerebro, así como en el rendimiento cognitivo en estas etapas iniciales del desarrollo de los individuos (Zárate et al., 2017). En este sentido, el consumo de estos AG es especialmente importante en la población infantil, siendo recomendado el consumo 100-200 mg/día de EPA+DHA en niños de entre 2 y 6 años, y entre 250-300 mg/día de estos omega-3 para niños mayores de 6 años (FAO/WHO (del inglés, World Health Organization)). Además, durante etapas como el embarazo y la lactancia la recomendación es de ingerir cantidades mayores de hasta 1 a 3–4 g/día. En un estudio reciente llevado a cabo por la Fundación Española de la Nutrición (FEN) y la Fundación Iberoamericana de la Nutrición (FINUT), puso de manifiesto que la dieta de los niños españoles menores de 10 años es elevada en grasas saturadas, pero deficitaria con respecto a las recomendaciones internacionales de AGE y PUFA como los omega-3 y especialmente de DHA. En este sentido, se hace imprescindible, la promoción de la ingesta de productos marinos o alimentos fortificados y enriquecidos como los lácteos, como una estrategia útil y eficaz para ayudar a alcanzar las ingestas adecuadas.

Con la evolución, la ingesta de ácidos grasos omega-6 por la población occidental ha aumentado considerablemente mientras que la de ácidos grasos omega-3 ha disminuido.

Como resultado, la proporción omega-6/omega-3 ha aumentado sustancialmente de 1:1 en las dietas de nuestros ancestros a alrededor de 20:1 en las dietas occidentales de hoy. Este cambio también coincide con un aumento significativo en la prevalencia de sobrepeso y obesidad, junto con una amplia gama de trastornos inflamatorios. Hallazgos recientes revisados por Zárata et al. (2017) destacan que ácidos grasos omega-6 como ARA se ve incrementado, y los omega-3 EPA y DHA disminuidos, en la mayoría de los tejidos cancerosos en comparación con los tejidos normales, y que los incrementos en el consumo de LC-PUFA omega-3 y una relación omega-6 / omega-3 de 2 a 4:1 se asocian con un riesgo reducido de cáncer de mama, próstata, colon y riñón. En este sentido, se recomienda reducir esta relación a valores de entre 1:1 y 4:1, consumiendo mayores cantidades de pescado, la principal fuente de LC-PUFA omega-3 biológicamente importantes en combinación con antioxidantes naturales. La relación omega-6/omega-3 presente en *K. pelamis* es de 1:5 en el lomo y de 1:6 en la ventresca, valores muy interesante a nivel nutricional ya que ayuda a corregir el desequilibrio en las dietas occidentales.

De manera a evaluar el valor nutricional del lomo y la ventresca del bonito listado, se calcularon 3 índices indicadores de calidad lipídica (Grafica 3). Los resultados evidencian que en términos generales el perfil de AG, puede ser considerado como saludables ya que presentan valores reducidos de IA y de IT, pudiendo prevenir la aparición de enfermedades micro y macrocoronarias. En el índice FLQ sí encontramos diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) teniendo la ventresca (23,87) mejor puntuación que el lomo (21,03) lo que indica que la suma EPA+DHA en relación al total de lípidos es mayor, con las ventajas que hemos comentado anteriormente.

**Gráfica 3.** Comparativa de los principales indicadores de calidad lipídica de ventresca y lomo de *Katsuwonus pelamis*.



Los resultados se expresan como media  $\pm$  desviación (n=5). IA: índice de aterogenicidad, IT: índice de trombogenicidad, FLQ: Calidad de los lípidos. Asteriscos (\*) indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

## Conclusiones

1. La mayor presencia de AGP y AGL en las muestras congeladas y ultracongeladas de lomo de *Katsuwonus pelamis* concuerdan con los obtenidos para TRI, que variaron de manera inversa a los anteriores, sugiriendo una degradación de éstos últimos por acción de las lipasas durante el periodo de almacenaje/congelado.

2. El método de conservación, no varió el perfil de ácidos grasos de lomo y ventresca de *Katsuwonus pelamis*, no afectando a la calidad lipídica del bonito listado.

3. La ventresca presenta una mayor proporción de PUFA, de ácidos grasos omega 3 y de omega 3 LC-PUFA que el lomo.

4. La ventresca contiene mayor cantidad de EPA+DHA con valores de 1.441,4 mg/100 g frente a los 289,5 mg/100 g de lomo.

5. Con una ración de 100 g de cualquiera de las dos piezas, lomo o ventresca, se superaría la ingesta mínima diaria de al menos 250 mg EPA+DHA por persona y día recomendada por las diferentes organizaciones gubernamentales sanitarias para una correcta salud cardiovascular.

## Conclusions

1. The greater presence of AGP and AGL in the frozen and deep-frozen samples of *Katsuwonus pelamis* loin agree with those obtained for the TRI, which varied inversely to the previous ones, suggesting a degradation of the TRI by the action of lipases during storage/frozen period.

2. The conservation method did not change the fatty acid profile of the loin and belly of *Katsuwonus pelamis* and did not affect the lipid quality of the skipjack tuna.

3. The belly has a higher proportion of PUFA, omega 3 fatty acids and omega 3 LC-PUFA, than the loin.

4. The belly contains a greater amount of EPA + DHA with values of 1441.4 mg/100 g compared to 289.5 mg/100 g of the loin.

5. With a 100 g portion of any of the two pieces, loin or belly, the minimum daily intake of at least 250 mg EPA+DHA per person and day recommended by the different governmental health organizations for proper cardiovascular health would be reached.

## *Bibliografía:*

- Calder P.C. (2010). Omega-3 fatty acids and inflammatory processes. *Nutrients*, 2(3), 355–374. <https://doi.org/10.3390/nu2030355>
- Calder P.C. (2012). Mechanisms of action of (n-3) fatty acids. *J. Nutr.* 142(3), 592S–599S. <https://doi.org/10.3945/jn.111.155259>
- Chen J, Liu H. (2020). Nutritional Indices for Assessing Fatty Acids: A Mini-Review. *International J Molecular Sci.* 21(16):5695. <https://doi.org/10.3390/ijms21165695>
- Collette, Bruce B.; Cornelia E. Nauen (1983). Catálogo de especies de la FAO. vol. 2. Scombrids del mundo. Catálogo comentado e ilustrado de túnidos, caballas, bonitos y otras especies afines conocidas hasta la fecha (PDF). Sinopsis de pesca de la FAO. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Pag. 137
- FAO. 2022. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461es>
- García Gabarra, A., Castellà Soley, M., Calleja Fernández, A. (2017). Ingestas de energía y nutrientes recomendadas en la Unión Europea: 2008–2016. *Nutr. Hosp.* 34(2), 490.
- Giugliano D, Ceriello A, Esposito K (2006). The effects of diet on inflammation: Emphasis on the metabolic syndrome. *J. Am. Coll. Cardiol.* 48: 677–685.
- Glencross, B.D. (2009), Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species. *Rev. Aquacult.* 1: 71-124. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2009.01006.x>
- González-Ramos, A. (1992). Bioecología del listado (*Katsuwonus pelamis*, Linnaeus, 1758) en el área de Canarias. Modelo de gestión y explotación mediante el uso de la teledetección. Tesis Doctoral, Las Palmas de Gran Canaria.
- Jay, J. M. (2009). Microbiología moderna de los alimentos. James M. Jay, Martin J. Loessner, David A. Golden; traducción a cargo de Juan Antonio Ordóñez Pereda, Miguel Ángel Asesio Pérez, Gonzalo D. García de Fernando Minguillón (5a edición.). Zaragoza, España: Acribia
- Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2017). *Lehninger principles of biochemistry* (7th ed.). W.H. Freeman.
- Organización Global para los Omega-3 EPA y DHA (2015). Recomendaciones globales para la ingesta de EPA y DHA. Pag. 17
- Organización Mundial de la Salud (2022). Nutrient requirements and dietary intake recommendations in developing and developed countries. Retrieved from [https://www.who.int/nutrition/publications/nutrientrequirements/WHO\\_TRS\\_935/en/](https://www.who.int/nutrition/publications/nutrientrequirements/WHO_TRS_935/en/)
- Pérez, J.A., Rodríguez, C., Bolaños, A., Cejas, J.R., Lorenzo, A. (2014). Beef tallow as an alternative to fish oil in diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles: Effects on fish performance, tissue fatty acid composition, health and flesh nutritional value. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 116, 571–583. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201300457>

- Plourde, M., Cunnane, S.C. (2007) Síntesis extremadamente limitada de poliinsaturados de cadena larga en adultos: implicaciones para su esencialidad dietética y uso como suplementos. *Aplicación Physiol. Nutr. Metab.* 32(4):619–634
- Simopoulos AP. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomed. Pharmacother.* 2002 Oct;56(8):365-79. doi: 10.1016/s0753-3322(02)00253-6. PMID: 12442909.
- Simopoulos, A. P. (2016). An increase in the omega-6/omega-3 fatty acid ratio increases the risk for obesity. *Nutrients*, 8(3), 128. doi:10.3390/nu8030128.
- Zárate, R., el Jaber-Vazdekis, N., Tejera, N., Pérez J.A., Rodríguez, C. (2017). Significance of long chain polyunsaturated fatty acids in human health. *Clin. Trans. Med.* 6, 25. <https://doi.org/10.1186/s40169-017-0153-6>
- <https://datos.gob.es/es/catalogo/a05003638-establecimientos-autorizados-para-realizar-la-primer-venta-de-productos-pesqueros-en-canarias-mayo-2022>