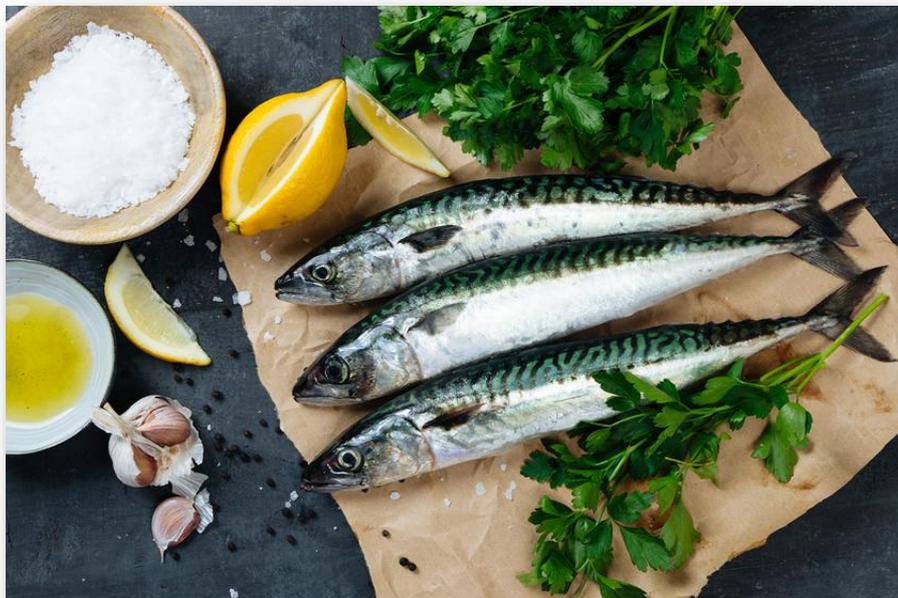


**Valoración bioquímica de pequeños peces pelágicos de interés pesquero en las islas Canarias. Importancia para la nutrición humana**

**Biochemical assessment of small pelagic fish of commercial interest in the Canary Islands. Importance for human nutrition**



Trabajo de Fin de Grado

**Lorenzo Guidi**

Tutorizado por Dr. José Antonio Pérez Pérez y Dra. Diana Filipa Botelho Reis  
Grado en Biología. Junio 2021

## ÍNDICE

---

Resumen.....	¡Error! Marcador no definido.
Abstract .....	¡Error! Marcador no definido.
Introducción .....	2
Malnutrición y enfermedad .....	2
Ácidos grasos omega 3 .....	3
La dieta proteica.....	7
El pescado como alimento imprescindible.....	7
Objetivos .....	9
Material y Métodos.....	10
Diseño experimental .....	10
Obtención de músculo por disección de pescado.....	10
Determinación de humedad .....	11
Extracción de lípidos.....	11
Determinación de clases lipídicas .....	11
Análisis del perfil de ácidos grasos.....	13
Índices de calidad de los lípidos .....	15
Determinación de proteína bruta .....	16
Extracción de minerales en horno MUFLA.....	17
Tratamiento estadístico de los resultados .....	18
Resultados y discusión .....	19
Contenido de lípido total, proteína, minerales y humedad.....	19
Clases lipídicas.....	20
Perfiles de ácidos grasos .....	21
Índices de calidad lipídica.....	23
Conclusions.....	25
Bibliografía.....	25

## Resumen

En el presente trabajo se analizaron nutricionalmente 4 especies marinas y pelágicas de interés pesquero más consumidas en las Islas Canarias con el fin de aportar una información útil en relación con las recomendaciones de consumo de pescado. Para la valoración, fueron estudiadas las siguientes variables: el contenido de lípido, proteína y minerales totales, junto al perfil de clases lipídicas, ácidos grasos e índices de calidad de lípido. El contenido lipídico fue bastante bajo y además distinto entre las especies, así como elevados los valores de EPA y DHA. En particular, *Sardinella pilchardus* fue el pescado con mayor contenido de n-3 LCPUFA y SFAs pero con mejor índice ARA/EPA. La valoración de la calidad del lípido mostró resultados sorprendentes especialmente en el caso de la caballa y el chicharro. Asimismo, tanto la cantidad de cenizas como de colesterol, porcentaje de lípidos neutros y polares, presentaron diferencias significativas entre las especies analizadas. Por otra parte, el contenido de proteínas fue notable no observándose diferencias entre especies.

**Palabras clave:** *Scomber scombrus*, *Trachurus trachurus*, *Sardinella pilchardus*, *Sardinella maderensis*, nutrición humana, n-3 LC-PUFA.

## Abstract

In the present work, four marine and pelagic species of commercially interesting highly consumed in the Canary Islands were nutritionally analyzed in order to provide useful information in relation to the GOED's fish consumption recommendations. The lipid content was different between the species, as well as the high values of EPA and DHA. Particularly, *Sardinella pilchardus* was the fish with the highest lipid content and high SFAs and ARA / EPA index. Likewise, both the amount of ash and cholesterol, the most prominent lipid class in the study, showed significant differences between the species probably analyzed. On the other hand, the protein content was remarkable, not observing differences between species.

**Key words:** *Scomber scombrus*, *Trachurus trachurus*, *Sardinella pilchardus*, *Sardinella maderensis*, human nutrition, n-3 LC-PUFA.

## *Introducción*

“Somos lo que comemos” es una frase famosa de **Ludwig Feuerbach, filósofo y antropólogo alemán** que en su escrito «Enseñanza de la alimentación» (Lehre der Nahrungsmittel: Für das Volk) de 1850, escribió: «Si se quiere mejorar al pueblo, en vez de discursos contra los pecados denle mejores alimentos. El hombre es lo que come».

### *Malnutrición y enfermedad*

Globalmente, muchas personas han oído hablar de problemas como la desnutrición, pero cuando se habla de **malnutrición** no se sabe exactamente su significado. La OMS la define como: “las carencias, los excesos o los desequilibrios de la ingesta de energía y/o nutrientes de una persona.”

Se trata de un problema importante que afecta en mayor o menor medida a toda la población mundial. En las últimas décadas, muchas economías emergentes de Asia Occidental, África del Norte, América Latina y Asia del Este han experimentado rápidos y significativos cambios en los niveles y patrones de consumo de alimentos, como el aumento del consumo de trigo, arroz, azúcar, aceites vegetales, carne y productos lácteos. En contraste, África subsahariana y Asia meridional están todavía muy por debajo del umbral de las 2500 kcal/persona/día recomendadas. Por lo tanto, mientras las sociedades orientales y países en desarrollo no llegan a consumir cantidades suficientes de calorías, los países “desarrollados” poseen una dieta proinflamatoria asociada fundamentalmente a un excedente de calorías.

Los efectos de una dieta baja en calorías repercuten sobre todo en los niños, ocasionando patologías como la emaciación y retraso del crecimiento, que están asociadas sobre todo a la malnutrición proteico-energética (PEM, del inglés *Protein Energy Malnutrition*). Se ha visto que, a largo plazo, este tipo de malnutrición puede conducir a retrasos neurológicos importantes, dando lugar a cambios irreversibles en la cognición, en el comportamiento, y en la microbiota (Smith et al., 2013; Subramanian et al., 2014). Incluso persisten después del período agudo de la enfermedad, pudiendo afectar a la capacidad del niño para interactuar con su entorno (Lukowski et al., 2010; Algarín et al., 2013; Suchdev et al., 2017).

Los trastornos de malnutrición en niños no se limitan únicamente al perfil cognitivo, sino que toman importancia en muchos otros aspectos entre los que destacan: aumentar el riesgo de infección (Savino, 2002), afección de la inmunidad (atrofia de órganos linfoides periféricos) (Savino, 2002), aumento de hormonas del estrés (Alleyne & Young, 1967) con la subsecuente función reducida de macrófagos y linfopoyesis (Auphan et al., 1997). Además, estos trastornos

se extienden a la edad adulta (Waber et al., 2014) y pasan a la siguiente generación probablemente mediante cambios epigenéticos (Peter et al., 2016). Por eso, asegurar una correcta nutrición sobre todo en el periodo más vulnerable del desarrollo cerebral del niño (desde el segundo trimestre del embarazo hasta los dos años de edad) tiene que ser una prioridad (Dobbing, 1982).

Por otra parte, en la sociedad occidental y países desarrollados, la malnutrición se fundamenta en un exceso de calorías y una dieta proinflamatoria. La obesidad tiene una naturaleza multifactorial resultante de factores genéticos, epigenéticos, fisiológicos, conductuales, socioculturales y ambientales que conducen a un desequilibrio entre la ingesta y el gasto de energía durante un período de tiempo prolongado. La prevalencia de la obesidad infantil casi se ha triplicado en niños y adolescentes estadounidenses desde 1980 (Fryar et al., 2020), lo que sugiere que puede estar aumentando a un ritmo más rápido que la obesidad en adultos, con importantes implicaciones para la salud futura de la población. El riesgo de padecer obesidad acorta la esperanza de vida ya que afecta a la función de muchos sistemas de órganos (Gortmaker et al., 1993). De hecho, la mortalidad puede ser resultado de varias enfermedades asociadas con la obesidad como la diabetes, la enfermedad renal crónica, la enfermedad gastrointestinal y cardiovascular (Cole et al., 2000). También se asocia la obesidad con el riesgo de padecer una larga lista de tipos de cáncer como el cáncer colorrectal o el cáncer de mama (Vucenik et al., 2012).

También existen evidencias de que una dieta proinflamatoria conduce a un parto prematuro (Ishibashi et al., 2020) y compromete la salud musculoesquelética y del riñón en ancianos (Xu et al., 2015; Cervo et al., 2019).

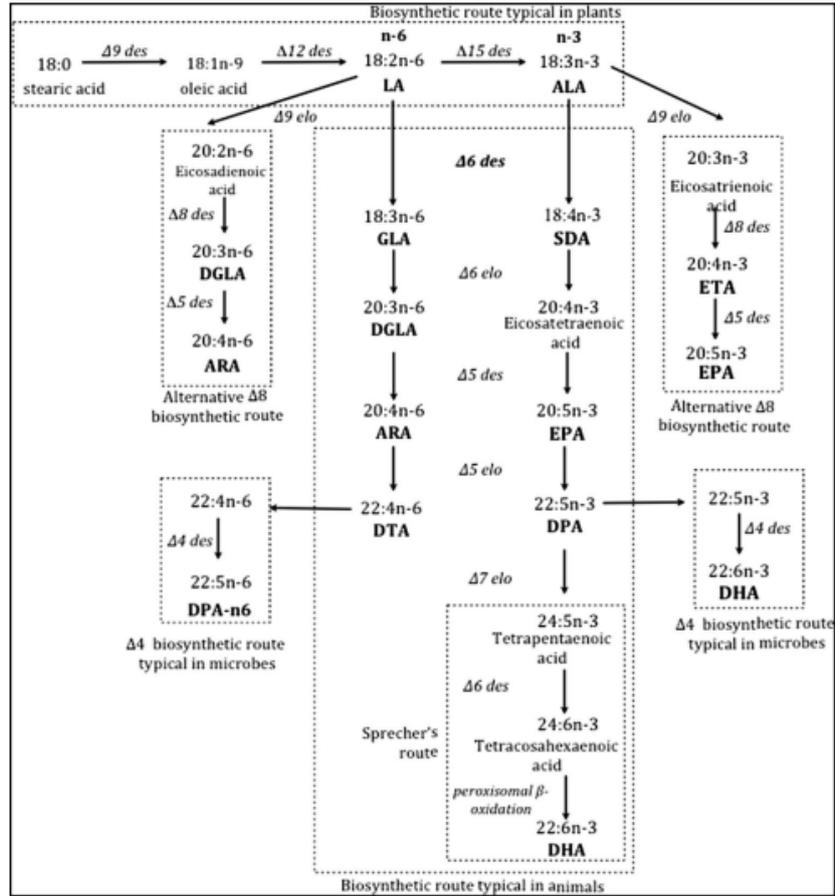
En contraste, una dieta mediterránea, que incluye un alto consumo de frutas y verduras, un consumo moderado de aves, **pescado**, huevos y lácteos, y un bajo consumo de carnes rojas y alimentos procesados, parece proteger contra la inflamación crónica y enfermedades relacionadas (Casas et al., 2014).

### *Ácidos grasos omega 3*

El término lípidos incluye ácidos grasos (AG) y sus derivados, así como sustancias funcionales o biosintéticas derivadas de estos compuestos. Los lípidos son elementos indispensables en la dieta, tanto para el aporte de energía (beta-oxidación de AG), como para el suministro de AG esenciales.

Los AG son los constituyentes mayoritarios de los lípidos y tienen actividades biológicas que influyen en la función y la capacidad de respuesta de las membranas celulares y el metabolismo de los tejidos, así como sobre señales hormonales y de otro tipo. A través de estas acciones, los AG afectan la salud, el bienestar y el riesgo de desarrollar enfermedades (Calder, 2015). Estructuralmente, los AG son compuestos orgánicos formados por una cadena hidrocarbonada que varía habitualmente entre 6 (C6) y 32 átomos de carbono. En un extremo de la molécula se encuentra un grupo carboxilo que se combina con el glicerol, formando los fosfolípidos o los triglicéridos y en el otro extremo un grupo metilo terminal. Sus cadenas pueden ser, saturadas sin la presencia de dobles enlaces, o insaturadas conteniendo uno o más dobles enlaces. De particular interés dentro de los AG insaturados encontramos los AG poliinsaturados de cadena larga (LC-PUFA, del inglés *Long Chain Polyunsaturated Fatty Acids*), pertenecientes a la serie omega-3 (n-3) y omega-6 (n-6), según la posición de la insaturación más cercana al grupo metilo terminal. Los LC-PUFA y en especial el ácido docosahexaenoico (22:6n-3, DHA), el ácido eicosapentaenoico (20:5n-3, EPA) y el ácido araquidónico (20:4n-6, ARA), son AG particularmente importantes, ya que desempeñan papeles cruciales en procesos fisiológicos vitales estando 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. (Calder, 2015).

La síntesis de AG puede realizarse por vías anaeróbicas solo presentes en algunos microorganismos o por vías metabólicas aeróbicas que son más universales. Consiste en pasos sucesivos de elongación de la cadena de carbono y desaturación (inclusión de dobles enlaces en la cadena hidrocarbonada), reacciones controladas por enzimas elongasas y desaturasas (Zárate et al., 2017) (Figura 1). Incluso se ha postulado que la dieta puede modular la capacidad humana para producir LC-PUFA a partir de sus precursores esenciales, AG de 18 átomos de carbono (Hussein et al., 2005). Estudios recientes indican que, en humanos, la síntesis endógena de DHA a partir del ácido alfa linolénico (18:3n-3, ALA) es mucho menor y limitada de lo que se suponía (Hussein et al., 2005).



**Ilustración 1.** Principales rutas biosintéticas de los LC-PUFA (Zárate et al., 2017).

Aunque un intento de disminuir la ingesta de grasas totales y grasas saturadas en las dietas occidentales se ha convertido en un tónico dietético, con la evolución, la ingesta de AG de la serie n-6 AG ha aumentado mientras que la de n-3 ha disminuido. Como resultado, la proporción n-6/n-3 ha aumentado sustancialmente de 1:1 en nuestras dietas ancestrales 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 (Simopoulos, 2016).

Clásicamente, el término eicosanoides se ha utilizado para describir no solo los metabolitos derivados de ARA, sino también de otros PUFA de 20 carbonos, como el EPA. Los eicosanoides derivados de los n-6 PUFA como el ARA, son potentes proinflamatorios contrariamente a sus homólogos n-3 PUFA, que ejercen efectos antiinflamatorios (Calder, 2015). Se ha comprobado que el enriquecimiento de EPA en las membranas celulares altera el equilibrio EPA/ARA y por ende compitiendo con el ARA por las mismas enzimas, sus

subproductos poseen una baja actividad proinflamatoria y gran actividad antiinflamatoria (Calder, 2015).

Todas estas funciones antiinflamatorias poseen un rol protector en nuestro cuerpo, como por ejemplo actuando como cardioprotector (Mozafarian & Wu, 2011), evitando la atrofia muscular (Jeromson, 2018), protegiéndonos contra especies reactivas al oxígeno (Powers, 2011) e impidiendo la formación de balsas lipídicas (Wong, 2009). No obstante, las implicaciones más importantes están a nivel de embarazo, enfermedades neurodegenerativas y tratamiento del cáncer.

Durante el embarazo, se produce un aumento de los requisitos dietéticos maternos de AG de la serie n-3 debido a la acumulación fetal (Jensen, 2006). Una correcta ingesta de AG n-3 en madres gestantes o en lactación, benefician el desarrollo neurológico del niño, facilitan un mayor peso en el momento del parto y un menor riesgo de parto prematuro (Koletzko, 2007) mientras que las carencias en esta etapa tan importante afectan a la condición neuropsiquiátrica de la infancia y la adolescencia en los niños (Morgese & Trabace, 2016).

El sistema nervioso central (SNC) está altamente enriquecido en n-3 LC-PUFA, de los cuales el DHA es el más importante, siendo el componente más abundante de la membrana neuronal y participando en múltiples procesos estructurales y funcionales dentro de las células de los mamíferos. De modo que, en enfermedades como el Alzheimer, el DHA junto al EPA poseen un rol neuroprotector (Heras-Sandoval et al., 2016) modulando la conducta (Morgese et al., 2017) mientras que en el Parkinson, el DHA puede retrasar la aparición de dicha enfermedad (Ozsoy et al., 2011), reducir los síntomas conductuales asociados (Pomponi et al., 2014) y combinado con un correcto ejercicio físico, mantener una función cognitiva estable (Chytrova et al., 2010).

En el cáncer, los n-3 LC-PUFA exhiben actividad anticancerígena (Pizato et al., 2005), ayudando a tratar la caquexia (Gorjao et al., 2019), mientras que los n-6 LC-PUFA promueven el desarrollo del cáncer (Zamaria, 2004). El consumo de LC-PUFA se ha asociado con un riesgo reducido de cáncer de mama, próstata, colon y riñón. Más que los AG individuales, la relación n-6 / n-3 es de importancia crucial para mantener un estado saludable y para la prevención del cáncer, siendo óptima una relación 2-4: 1 (Simopoulos, 2008).

Por lo que respecta a recomendaciones dietéticas, estas varían mucho según el estado de salud y condición física de la persona. Para la obtención de los efectos beneficiosos de los n-3 LC-PUFA, las instituciones gubernamentales (GOED, del inglés *Global Organization for EPA and DHA Omega-3*) aconsejan consumir dosis que varían de un mínimo de 250 mg hasta

incluso 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.

### *La dieta proteica*

El contenido proteico de una dieta se puede considerar en términos de la cantidad absoluta consumida, la proporción de la ingesta energética total o la cantidad de proteína por peso corporal. Las dietas ricas en proteínas se utilizan para la pérdida y el mantenimiento de peso, así como para la hipertrofia muscular potenciando la síntesis de proteína muscular (MPS, del inglés *Muscular Protein Synthesis*) (Phillips, 2011).

Se cree que las dietas altas en proteína producen mayor saciedad, estimulando hormonas gastrointestinales saciantes como el péptido YY, y disminuyendo la activación del centro mesolímbico de recompensa bajando la sensación de hambre (Woods, 2004). Por otro lado, las dietas altas en proteínas afectan positivamente a la homeostasis del calcio y los huesos a través de sus efectos sobre la absorción intestinal de calcio (Kerstetter et al., 2005) y renal de fosfatos (Palmer et al., 1996), el recambio óseo y la producción del factor de crecimiento similar a la insulina 1 (IGF-1) (Schürch et al., 1998) además de poseer efectos hipotensivos (Mitsumasa et al., 2009). Por eso, es importante asegurar una ingesta proteica suficiente no solo en niños (Tang et al., 2014) y en deportistas (Aragon et al., 2017), sino también en personas ancianas (Phillips et al., 2015), más afectadas por enfermedades óseas (ej. osteoporosis), musculares (ej. sarcopenia), cardiovasculares y diabetes tipo 2 (Rodríguez, 2015). Aunque está bien aceptado que una dieta rica en proteínas es perjudicial para las personas con disfunción renal existente, hay poca evidencia de que una ingesta alta de proteínas sea peligrosa para las personas sanas (Friedman et al., 2004).

Las recomendaciones de ingesta de proteínas animales para humanos varían en función de su etapa de vida, condiciones de salud y objetivos personales. Por lo general, se recomienda una ingesta de 0,8- 1 g/kg/día (García Gabarra et al., 2017) pero aumentarla hasta 1,5 g/kg/día en personas mayores o incluso a 2,3 en atletas parece ser seguro (Mojtahedi et al., 2011).

### *El pescado como alimento imprescindible*

Debido a los beneficios que para la salud humana puede conllevar una dieta rica en ácidos grasos esenciales como el EPA y el DHA y una dieta balanceada en proteínas de alto

valor biológico, se propone al pescado como alimento imprescindible ya que cumple todos los requisitos para una dieta saludable. La situación geográfica del archipiélago canario favorece que la pesca costera artesanal proporcione altas cantidades de pescados pelágicos sobre todo en la isla de Tenerife (The European Parliament, 2013). En consecuencia, potenciando el consumo de pescado fresco de Canarias se estaría potenciando la economía regional, promoviendo una nutrición saludable basada en productos locales. Por lo tanto, aprovechando la elevada presencia de especies pelágicas en las costas del archipiélago, la pesca y consumo sostenible de estas especies tiene que ser un “must” en nuestro día a día.

Las especies estudiadas en la presente memoria son: *Scomber scombrus* (caballa), *Trachurus trachurus* (chicharro), *Sardinella pilchardus* (sardina europea) y *Sardinella maderensis* (machuelo). Todas ellas son especies marinas carnívoras y pelágicas, y fueron capturadas por pesca extractiva, siendo consideradas como pescado azul por su contenido graso superior al 5%. Su distribución es muy marcada en todo el archipiélago en profundidades que van desde los 25 hasta los 100 metros aunque el chicharro es más bentopelágica y el machuelo muy migratoria. En cuanto a las características biométricas, se observan sustanciales diferencias de tamaño desde la especie más grande, la caballa, un pez mesodermesal que alcanza tallas de 50 cm, hasta la más pequeña, la sardina europea, que llega a medir 20 cm como máximo.

Las cuatro especies se alimentan principalmente de pequeños invertebrados y larvas de peces, aunque la caballa llega incluso a ser un excelente depredador de otros peces pequeños. Entre las especies estudiadas figuran los objetivos más capturados por las traíñas de la flota canaria como la caballa y la sardina, cuya pesca se desarrolla en una amplia superficie de la costa de la isla de Tenerife, centrándose especialmente en la zona sur y suroeste.

Por tanto, estas especies fueron seleccionadas y analizadas para establecer un punto clave en la nutrición de la población de las Islas debido a su importante presencia en las costas canarias y su elevado interés pesquero.

## *Objetivos*

El presente estudio pretende valorar bioquímicamente cuatro especies de peces pelágicos de Canarias y establecerlas como un aliado clave para combatir un gran número de enfermedades, incluso las asociadas a malnutrición, mejorando la salud de la población y potenciando su consumo.

En base a lo anterior, el objetivo general del presente trabajo es:

- Estudiar la composición nutricional de cuatro especies de peces pelágicos de las Islas Canarias: caballa (*Scomber scombrus*), chicharro (*Trachurus trachurus*), sardina europea (*Sardinella pilchardus*) y machuelo (*Sardinella maderensis*), para fomentar su consumo en la población canaria, favoreciendo la salud humana.

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

1. Evaluar la cantidad y calidad de los lípidos, concretamente de ácidos grasos de la serie n-3, en el músculo de las especies en estudio.
2. Valorar la cantidad de proteína total presente en el músculo.
3. Cuantificar los minerales totales extraídos de músculo.

## Material y Métodos

### Diseño experimental

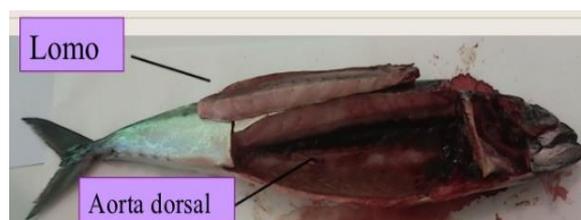
Los ejemplares de caballa (*S. scombrus*), chicharro (*T. trachurus*), sardina europea (*S. pilchardus*) y machuelo (*S. maderensis*) analizados en la presente memoria fueron capturados por pesca extractiva en las costas de San Andrés, Los Cristianos y Los Abrigos, todas ellas localidades pertenecientes a la isla de Tenerife, y comprados en Mercadona de La Laguna, Pescadería la Concepción y Pescadería Municipal Maruca e Hijo, puntos de venta de la zona metropolitana de la isla de Tenerife. Los ejemplares fueron capturados entre el 23/03/2021 y el 13/04/2021, analizándose un total de 5 peces ( $n = 5$ ) de las especies *S. scombrus* y *T. trachurus*, y 3 ejemplares ( $n = 3$ ) de *S. pilchardus* y *S. maderensis*. En todos ellos se determinó el contenido de humedad, proteína, minerales y lípido total, perfil de ácidos grasos y de clases lipídicas del músculo.

### Diseción del pescado y obtención de la muestras de músculo

Los pescados frescos adquiridos fueron llevados al laboratorio de Fisiología Animal del Departamento de Biología Animal, Edafología y Geología de la Universidad de La Laguna para su determinación bioquímica. Antes de proceder a su diseción, los ejemplares fueron debidamente medidos (longitud total desde la boca hasta la furca) y pesados (Tabla 1).



**Ilustración 2.** Partes corporales de un pescado.



**Ilustración 3.** Extracción del músculo subcutáneo.

**Tabla 1.** Valores medios de peso (g) y talla (cm) de las distintas especies analizadas.

Especie	<i>Scomber scombrus</i>	<i>Trachurus trachurus</i>	<i>Sardinella pilchardus</i>	<i>Sardinella maderensis</i>
Peso	30,38 ± 3,08	17,68 ± 1,19	11,90 ± 0,26	20,10 ± 0,30
Talla	326,48 ± 98,93	68,70 ± 16,46	20,17 ± 1,78	104,43 ± 4,24

Los resultados se expresan como media ± desviación estándar (n=5 para *S. scombrus* y *T. trachurus*; n=3 para *S. pilchardus* y *S. maderensis*).

Para la obtención del músculo/filete de los diferentes ejemplares se hizo un corte con tijeras quirúrgicas desde la glándula anal hasta la base de la aleta pectoral (Ilustraciones 2 y 3). Seguidamente, se realizó un corte longitudinal de la misma anchura que el primero flanqueando la columna del pez, se extrajo el músculo subcutáneo (lomo) sin piel ni grasa subcutánea y se retiró cuidadosamente las pequeñas espinas. A continuación, se trituró el lomo hasta obtener una mezcla homogénea del filete y se recogió muestra fresca para la extracción de lípidos y para determinación de humedad y cenizas, almacenando la muestra restante a -80°C en bolsas herméticas debidamente identificadas (especie, fecha, peso, talla, lugar de pesca y local de compra).

#### *Determinación de humedad*

Para la determinación de humedad se pesó aproximadamente 500 mg de muestra (Pi) en un crisol/platina que se colocó en una estufa a 110°C durante 24 horas. Tras ese periodo, se dejó la muestra 30 minutos en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente y se volvió a pesar la muestra (Pf). El porcentaje de humedad se calculó mediante la fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = [(P_i - P_f) / (P_i)] * 100$$

#### *Extracción de lípidos*

La extracción de lípido total se llevó a cabo mediante el método de Folch et al. (1957) modificado por Christie (1982). El método es el siguiente:

Se pesaron aproximadamente 300 mg de músculo en un tubo de ensayo (tubo 1) y se adicionaron 10 mL de cloroformo:metanol (CL:Met) (2:1, v/v). Se homogeneizó la mezcla de 3 veces (añadiendo 1/3 de volumen de solvente cada vez) por medio de un homogeneizador y

a continuación se trasvasó el homogeneizado resultante a un tubo limpio (tubo 2) a través de un filtro de poro 14-18  $\mu\text{m}$  de diámetro, que fue lavado, una vez filtrado, con 1 mL de CL:Met.

Seguidamente, se añadió 2,5 mL de KCl 0,88% (p/v) y se agitó fuertemente en vórtex de forma que el CL:Met pudiera extraer las sustancias liposolubles y el KCl aumentara la tensión superficial entre las fases a separar, arrastrando a la fracción acuosa, parte del metanol y la materia hidrosoluble. A continuación, se centrifugó el tubo 2 a 1500 rpm, durante 5 min a 4°C recuperándose en un tubo limpio (tubo 3) la fase inferior que contenía los lípidos, con una pipeta Pasteur. Se evaporó el solvente en atmósfera de nitrógeno ya que los lípidos son fácilmente oxidables por el oxígeno y degradables por la luz y se trasvasó el lípido a un vial previamente pesado usando 1 mL de CL:Met, evaporando nuevamente el solvente para ser puesto a continuación en un desecador en oscuridad y bajo vacío durante al menos, 5 horas. Pasado este tiempo se pesaron de nuevo los botes para calcular la cantidad de lípido por diferencia de pesada.

Por último, se redisolviéron los lípidos en CL:MET conteniendo butilhidroxitolueno (BHT) como antioxidante, a una concentración de 10 mg/mL, y se guardaron en el congelador a -20 °C en atmósfera de nitrógeno hasta continuar con su análisis.

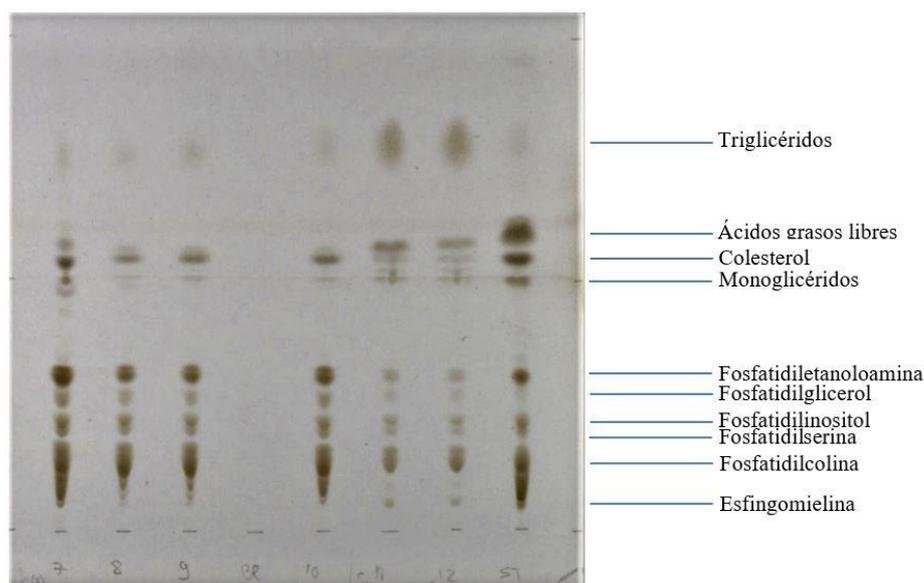
### *Determinación de clases lipídicas*

La separación de clases lipídicas (CL) se realizó mediante doble desarrollo unidimensional en cromatografía en capa fina de alta resolución (HPTLC, del inglés *high performance thin layer chromatography*), en placas de sílica gel de 10 cm x 10 cm x 0,15 mm (Merck KGaA, Darmstadt, Alemania) según el método de Olsen y Henderson (1989).

Las placas, previamente lavadas con dietil éter, se activan en estufa durante 30 minutos a 110°C para quemar impurezas y manteniéndose en el desecador hasta su utilización. Con ayuda de una pipeta Hamilton de 10  $\mu\text{l}$  se cargan 30  $\mu\text{g}$  de lípido total en cada placa: un estándar de composición conocida (extracto lipídico de hueva de bacalao), un control (casilla sin muestra, para observación de los frentes de los solventes) y 5 muestras problema.

Para la separación de los lípidos polares (LP) se usa una solución de isopropanol: cloroformo: metilacetato: metanol: KCl al 0,25% (5:5:5:2:1,8 v/v). Una vez desarrollada hasta el punto medio de la placa, se deja secar bajo campana extractora por 3 minutos y se coloca posteriormente en un desecador durante 10 minutos. Para la separación de los lípidos neutros (LN) se usa una solución de hexano: éter: ácido acético (20:5:0,5 v/v), dejando que la placa se desarrolle completamente hasta la parte superior. Una vez desarrolladas se tiñen las placas de

forma homogénea con un reactivo basado en 3% de acetato cúprico y 8% de ortofosfórico y se colocan en la estufa a 160°C durante 10 minutos para quemar y revelar las bandas correspondientes a las distintas CL (Ilustración 4). Finalmente, las placas se escanean en el CAMAG TLC visualizer (CAMAG, Muttenz, Suiza) y usando el software informático winCATS, versión 1.4.4, se analizan las bandas de las distintas CL por densitometría. El procesado de las bandas para obtener la proporción de cada CL se realiza con el software VideoScan, versión 1.02.



**Ilustración 2.** Distribución de las clases lipídicas en cromatografía en capa fina

### *Análisis del perfil de ácidos grasos*

Para la determinación de los ácidos grasos de cada muestra se realiza la transmetilación de una alícuota de lípido por catálisis ácida, dando lugar a ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME, del inglés *fatty acid methyl esters*) que son posteriormente purificados por cromatografía en capa fina (TLC, del inglés *thin layer chromatography*) y determinados y cuantificados por cromatografía de gases. Durante la transmetilación del extracto de lípido, se rompen los enlaces éster entre los ácidos grasos y los esqueletos hidrocarbonados y se obtienen ácidos grasos libres, a los cuales se les une un grupo metilo que va a permitir que sean volátiles y así se puedan separar por cromatografía de gases.

Se introduce una alícuota de 1 mg de lípido en un tubo de ensayo (tubo 1) junto con un 5% de estándar interno (19:0). Se evapora el solvente orgánico con nitrógeno y se añade 1 mL de tolueno y 2 mL de ácido sulfúrico al 1% en metanol (v/v) al extracto de lípido seco, agitando

fuertemente. Hecho esto, se llena el tubo con nitrógeno, se tapa herméticamente y se deja reaccionar durante 16-18 horas a 50°C en un bloque calefactor y en oscuridad. Transcurrido este periodo, se retira el tubo del bloque calefactor y tras dejarlo enfriar, se añaden 2 mL de  $\text{KHCO}_3$  al 2% (w/v) y 5 mL de hexano:éter (1:1, v/v) con BHT al 0.01%, y se agita fuertemente en vórtex. Para una mejor separación entre fases, se centrifuga el tubo a 1500 rpm durante 5 minutos.

A continuación, se transfiere la fase orgánica superior a un segundo tubo marcado (tubo 2) y se vuelven a añadir 5 mL de hexano:éter (1:1, v/v) esta vez sin BHT al tubo 1, agitando y centrifugando nuevamente a 1500 rpm durante 5 minutos y se recoge la fase superior al tubo que contiene la fase orgánica anterior. Seguidamente, se evapora por completo el solvente del tubo 2 con nitrógeno para proceder a la purificación de los FAME por TLC y se añade entre 80 y 100  $\mu\text{l}$  de hexano deslizándolo por las paredes, para redissolver bien la muestra secada previamente.

La solución para desarrollar la cromatografía en capa fina en la cubeta está compuesta por 90 mL de hexano, 10 mL de éter y 1 mL de ácido acético, para una placa de 20 x 20 cm. Antes de aplicar la muestra, se coloca el estándar externo (una muestra de lípido ya metilada), que ayudará a identificar la posición de nuestros ésteres metílicos en la placa. A continuación, se aplican las muestras en la placa a una concentración de 1 mg/cm dejando 2 cm de separación entre ellas con la ayuda de una jeringa Hamilton. Una vez aplicadas las muestras, se coloca la placa verticalmente en la cubeta y se tapa para que se desarrolle la cromatografía.

Una vez desarrollada la placa, se retira de la cubeta y se espera a que se seque bajo campana extractora. Entonces, se pulveriza con yodina (1% yodo en  $\text{CHCl}_3$ ) de forma homogénea sobre donde se encuentra el estándar, lo que nos permite identificar las bandas de los ésteres metílicos correspondientes a nuestras muestras. Se raspa la sílice de cada banda y se pasa a un tubo de ensayo marcado para cada muestra (tubo 3).

Posteriormente, se añaden 10 mL de hexano:éter (2 mL con BHT + 8 mL sin BHT), se agita vigorosamente y se centrifuga a 1500 rpm durante 5 minutos. Tras la centrifugación, se recoge la fase superior para pasarla a otro tubo previamente marcado (tubo 4) y se evapora el solvente a continuación. Los ésteres metílicos resultantes se resuspenden en 750  $\mu\text{l}$  - 1 mL de hexano a una concentración aproximada de 1 mg/mL, y se pasan a un bote pequeño previamente etiquetado en presencia de nitrógeno, almacenándose a -20°C hasta el momento de su inyección en un cromatógrafo de gases (GC-ULTRA TRACE; Thermo Scientific, Milán, Italia).

Las muestras se disponen en una gradilla situada en el sistema de autoinyección del cromatógrafo. La aguja del autoinyector tomará 0,6 µl de cada una de las muestras, inyectándolas en columna capilar de sílice fundida y de relleno polar de 30 m de longitud y 0,32 mm de diámetro interno (Supelcowax® 10, Supelco Inc., Bellefonte, EEUU) bajo las siguientes condiciones cromatográficas:

Inyección en columna a 50°C; Detector (FID, del inglés *Flame Ionization Detector*) a 240°C; y columna con rampas de temperatura: temperatura inicial 50°C, tasa de incremento de temperatura de 40°C/min hasta alcanzar 150°C, segunda tasa de incremento de 2°C/min hasta 200°C, incremento de 1°C/min hasta 214°C, y finalmente 40°C/min hasta una temperatura final de 230°C mantenida durante 5 min. Como gas portador se utilizó helio a un flujo de 1,5 mL/min, y para la llama del detector, hidrógeno a 35 mL/min y aire, a 350 mL/min.

Para la identificación de los ácidos grasos, se confrontaron los cromatogramas de las muestras con una mezcla patrón de composición conocida (Mix C4-C24 y PUFA No. 3, Supelco Inc.), siendo cuantificados en valor absoluto en relación a una cantidad exacta y conocida del estándar interno (19:0) añadida a la fracción de lípido total justo antes de su transmetilación.

### *Índices de calidad de los lípidos*

Para determinar el valor nutricional de las distintas especies de pescado en términos de composición de ácidos grasos musculares, se calcularon tres índices diferentes:

(1) **Índice de aterogenicidad (IA):** indica la relación entre la suma de los principales ácidos grasos saturados e insaturados, considerándose el primero proaterogénico (favoreciendo la adhesión de los lípidos a las células del sistema inmunológico y circulatorio), y el segundo anti-aterogénico (inhibe la agregación de placa y disminuye los niveles de ácidos grasos esterificados, colesterol y fosfolípidos, previniendo así la aparición de enfermedades micro y macrocoronarias) (Chen & Liu, 2020).

$$IA = \frac{[(12:0 + (4 \times 14:0) + 16:0)]}{[\Sigma \text{ MUFA} + \Sigma n-6 \text{ PUFA} + \Sigma n-3 \text{ PUFA}]}$$

(2) **Índice de trombogenicidad (IT):** muestra la tendencia a formar coágulos en los vasos sanguíneos. Esto se define como la relación entre los ácidos grasos protrombogénicos (saturados) y antitrombogénicos (MUFA, n-6 PUFA y n-3 PUFA) (Chen & Liu, 2020).

$$IT = \frac{(14:0 + 16:0 + 18:0)}{[(0.5 \times \Sigma \text{MUFA} + 0.5 \times \Sigma n-6 \text{ PUFA} + 3 \times \Sigma n-3 \text{ PUFA}) + (n-3 \text{ PUFA}/n-6 \text{ PUFA})]}$$

(3) **Calidad carne-lípidos (FLQ, del inglés *flesh lipid quality*):** indica la relación porcentual en la que aparecen los principales n-3 LC-PUFA (EPA y DHA) en el músculo con respecto a la totalidad de los lípidos. Cuanto mayor sea el valor de este índice, mayor será el valor nutricional del pescado (Chen & Liu, 2020).

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

### *Determinación de proteína bruta*

La cantidad de proteína presente en las muestras se determinó mediante el método Kjeldahl, el cual se basa en valorar su contenido en Nitrógeno (N). Una vez pesada la muestra en un crisol (~500 mg) se procedió a determinar su humedad manteniéndola en estufa a 47°C durante un mínimo de 24 h. A continuación, se pesaron 100 mg de muestra seca, se guardó en papel de arroz y se añade a un matraz Kjeldahl.

Seguidamente, se mineraliza la muestra con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> oxidándola hasta formar CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, oxidando también el N reducido de las proteínas para formar NH<sub>4</sub> + HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>. Para ello, se hace hervir la muestra con 7 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado al 95-98% y piedras de ebullición para evitar el burbujeo intenso. Se le añade además, 2 g de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para aumentar el punto de ebullición de la mezcla y conseguir temperaturas más altas que aceleran la reacción y 1 g de CuSO<sub>4</sub> como catalizador para acelerar la reacción. Se deja reaccionar inicialmente con una calefacción baja y tras 30 minutos, se sube la temperatura 0,6 veces manteniéndola durante 1 h. Una vez transcurrido este tiempo, se deja enfriar la solución y se añaden 20 mL H<sub>2</sub>O para disolver mejor las sales de NH<sub>4</sub> + HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>. Se enrasa el contenido del matraz Kjeldahl a 50 mL y de estos se coge una alícuota de 15 mL para destilar durante 10 minutos a gran temperatura.

Entonces se destila el NH<sub>3</sub>, para lo cual se neutraliza la disolución con exceso de NaOH al 40% añadiendo 10 mL de dicha sustancia al matraz, liberándose NH<sub>3</sub>, que se condensa. Paralelamente, se prepara una solución de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (4%) cogiendo 35 mL, con 0,5 mL de verde de bromocresol, un indicador de pH que ayudará finalmente a la hora de valorar la solución problema. El NH<sub>3</sub> condensado se recoge en la solución de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, formando 3BO<sub>3</sub>, de forma que puede llevarse a cabo la valoración con una solución de HCl de concentración conocida.

Por último, se relaciona la cantidad de disolución valoradora y el porcentaje de proteína en la muestra mediante la fórmula:

$$\% \text{ proteína en la muestra} = [\text{Normalidad HCl} \times (\text{Vm}-\text{Vb}) \times 14 \times 6,25 \times 100] / [1000 \times m],$$

donde:

- Normalidad HCl es la normalidad del HCl valorador (equivalentes/L)
- Vm (mL) es el volumen de HCl valorado para la muestra
- Vb (mL) es el volumen de HCl valorado para el blanco
- 14 es el peso atómico del N
- 6,25 es el factor que se utiliza para convertir la cantidad de N en cantidad de proteína, si se asume que la proteína contiene un 16% de N (valor de la albúmina, utilizada como patrón)
- m es la masa de la muestra en gramos.

### *Extracción de minerales en horno MUFLA*

Para determinar el contenido de cenizas o minerales totales del músculo de las especies estudiadas, se utilizó un horno MUFLA, un equipo que funciona a altas temperaturas, compuesto de una cámara cerrada, la cual está cubierta por material refractario, que permite una entrega de calor uniforme al interior. El protocolo utilizado se basa en un incremento gradual de la temperatura para evitar la formación repentina de costra de grasa a elevada temperatura, que impediría la completa incineración de muestras con elevado contenido de grasa.

Se toma 1,5 mg de muestra para determinar su humedad en un crisol de porcelana que luego se guarda en el desecador hasta la incineración. Se introduce la porcelana con la muestra seca en el horno MUFLA a 200°C durante 1 hora. Pasado este tiempo, se sube la temperatura a 300°C, se deja la muestra 45 minutos en el horno y se vuelve a subir la temperatura a 400°C dejando el crisol otros 30 minutos en el horno. Por último, se sube la temperatura a 450°C y se deja el crisol con la muestra durante 24 h tras las cuales, se procede a determinar su peso con la muestra incinerada, atemperándola previamente en el desecador.

La determinación del contenido de cenizas en peso seco y húmedo se llevó a cabo mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de cenizas en peso fresco} = [(\text{peso crisol} + \text{cenizas}) - (\text{peso crisol})] / (\text{peso muestra fresca})$$

### *Tratamiento estadístico de los resultados*

Las comparaciones del contenido lipídico, proteico y de cenizas, así como del perfil de ácidos grasos y de clases lipídicas de las cuatro especies de estudio: caballa, chicharro, sardina y machuelo, fueron llevadas a cabo mediante el paquete estadístico IBM® SPSS Statistics 25 (Chicago, Ill). Antes de llevar a cabo las comparaciones estadísticas, se determinó el ajuste de los datos a una distribución normal mediante el test de normalidad de Kolmogorov-Smirnoff para una muestra y la homogeneidad de las varianzas mediante el test de Levene. Para las variables que se ajustaron a la normalidad y eran homocedásticas las diferencias entre especies fueron evaluadas mediante comparación de medias utilizando la ANOVA de 1 factor, seguida del test *post-hoc* de Tukey.

Los datos que no cumplieren la presunción de normalidad u homocedasticidad se transformaron a través de la raíz cuadrada del arcoseno, la inversa, la raíz o bien por el logaritmo en base 10. A aquellas variables que tras las transformaciones no adquirieron la condición de normalidad y homocedasticidad, se les realizó un test no paramétrico.

Para las variables no homocedásticas se aplicó la prueba no paramétrica de Welch y de Brown y Forsythe para comprobar la presencia de grupos diferentes y dichos grupos se determinaron mediante los test *post-hoc* T2 Tamhane y T3 Dunnett, mientras que las variables no normales, pero sí homocedásticas, se trataron con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y las diferencias entre grupos se halló mediante el test de Bonferroni.

Para aquellas variables que estaban ausentes en dos especies, la comparación de medias se llevó a cabo utilizando la t-Student. En todos los casos, la significación estadística establecida fue  $p < 0.05$ .

## Resultados y discusión

### Contenido de lípido total, proteína, minerales y humedad

Los valores de lípido total, proteína y minerales de las muestras de músculo de las especies de peces pelágicos analizadas en el presente trabajo figuran en la Tabla 1.

**Tabla 2.** Valores de lípido total, proteínas y minerales en mg ácido graso/100 g de peso fresco del tejido muscular de las distintas especies analizadas.

	<i>Scomber scombrus</i>	<i>Trachurus trachurus</i>	<i>Sardinella pilchardus</i>	<i>Sardinella maderensis</i>
Lípido total	756,12 ± 134,85 <sup>b</sup>	818,90 ± 264,64 <sup>b</sup>	1571,86 ± 601,36 <sup>a</sup>	775,29 ± 128,97 <sup>b</sup>
Proteína	1944,65 ± 237,19	1857,44 ± 163,46	1894,13 ± 75,35	1942,66 ± 7,46
Minerales	185,31 ± 10,92 <sup>c</sup>	148,10 ± 17,49 <sup>ab</sup>	135,00 ± 10,41 <sup>a</sup>	173,32 ± 12,42 <sup>b</sup>

Los resultados se expresan como media ± desviación estándar (n=5 para *S. scombrus* y *T. trachurus* y n=3 para *S. pilchardus* y *S. maderensis*). Superíndices distintos muestran diferencias significativas (p < 0,05).

La sardina presentó los valores más altos de lípido total (1571,86 ± 601,36 mg/100 g tejido) con sustancial diferencia con las otras especies estudiadas que se mantuvieron en torno a los 800 mg/100 g de músculo. Sin embargo, el porcentaje de lípido aportado por todas las especies estudiadas sigue siendo muy inferior a peces como el salmón atlántico (*Salmo salar*). Para una persona en buen estado de salud que lleva una dieta de 2000 kcal, tanto la caballa, el chicharro y el machuelo por un lado, así como la sardina por otro, aportarían entre el 1,23 y 2,58% de las necesidades diarias de grasas (García Gabarra et al., 2017). Esto las hace perfectamente aptas en las elaboraciones de menús donde se busca una buena fuente de grasas al no ser que el individuo no las metabolice correctamente y las tienda a acumular fácilmente como es el caso de personas que sufren o tienen tendencia a padecer obesidad.

Sorprendentemente, el contenido proteico fue similar entre especies rondando en torno al 19% de peso fresco. Por eso se hace recomendable su inclusión en dietas proteicas donde se busque una fuente de proteína de alto valor biológico con beneficios hipotensivos (Mitsumasa et al., 2009), mantención o aumento de la masa magra libre de grasa (Phillips, 2011) combinada incluso con un buen aporte de EPA y DHA (Gingras, 2007) y la pérdida de peso mediante su efecto saciante (Woods, 2004). Solo con una generosa ración de 150 g de cualquiera de estas especies se podría cubrir el 40% de la cantidad diaria recomendada para un adulto sano que pese 70 kilogramos y el 27% en el caso de una persona mayor sana. Esto convierte a las cuatro especies en un componente perfecto en los planes de déficit calórico para adelgazar, mantener

la masa muscular o aumentar la masa grasa libre combinado con un entrenamiento de resistencia adecuado y un consumo de EPA y DHA. Aun así, para los deportistas que quieran estimular adecuadamente la síntesis de proteínas musculares se recomienda elevar la cantidad de proteínas por día hasta 2,3 g/Kg y separar la comida post entrenamiento y la ingesta de EPA y DHA por sus efectos anti-antiinflamatorios (pudiendo interferir con la MPS).

Por otra parte, sí se encontraron diferencias en el contenido de cenizas en las distintas especies estudiadas, probablemente debidas al distinto tamaño de los ejemplares y a sus diferentes hábitos alimenticios.

Incluyendo una ración de 150 g de cualquiera de estas especies en un pasto diario, podríamos estar proporcionando un rango de 3,8 a 5,2% de las necesidades nutricionales de minerales diarias para un adulto sano (García et al., 2017). Esto, junto a las apropiadas porciones diarias de fruta y verdura, las hace aptas tanto para personas que quieran cubrir sus requerimientos diarios de minerales, como para las que necesiten mayores proporciones debido al tipo de actividades físicas que realizan en su día a día. Esto sería el caso de personas con elevada sudoración o que vivan en lugares/periodos del año muy cálidos donde la pérdida de iones se hace importante.

### *Clases lipídicas*

La Tabla 3 muestra la composición en clases lipídicas de las distintas especies analizadas bioquímicamente en porcentaje del lípido total.

Dentro de los lípidos polares se puede observar como la *S. pilchardus*, posee diferencias significativas con las otras especies en cuanto a su contenido en fosfatidilcolina (PC;  $16,15 \pm 3,30$ ), fosfatidilinositol (PI;  $3,75 \pm 0,64$ ), fosfatidilglicerol (PG;  $1,97 \pm 0,44$ ) y fosfatidiletanolamina (PE;  $4,64 \pm 0,39$ ). El contenido de lípido polar total también presentó diferencias significativas entre especies, siendo la caballa la que posee mayor valor ( $80,09 \pm 12,77$ ). Las diferencias estadísticas también se replican para el contenido de lípido neutro, donde esta vez es la *S. pilchardus* que alcanza el mayor valor de dicha variable ( $35,19 \pm 10,02$ ).

**Tabla 3.** Composición de clases lipídicas (% de lípido total) del tejido muscular de las distintas especies analizadas.

Clases lip.	<i>Scomber scombrus</i>	<i>Trachurus trachurus</i>	<i>Sardinella pilchardus</i>	<i>Sardinella maderensis</i>
SM	3,05 ± 1,35	1,99 ± 0,41	2,61 ± 0,23	1,41 ± 0,79
PC	42,67 ± 5,43 <sup>b</sup>	39,52 ± 2,66 <sup>b</sup>	16,15 ± 3,30 <sup>a</sup>	35,76 ± 7,98 <sup>b</sup>
PS	2,04 ± 1,63	2,10 ± 0,73	1,70 ± 0,12	1,63 ± 2,82
PI	8,92 ± 3,24 <sup>a</sup>	6,44 ± 0,59 <sup>a</sup>	3,75 ± 0,64 <sup>b</sup>	8,72 ± 2,59 <sup>a</sup>
PG	5,54 ± 1,73 <sup>bc</sup>	4,35 ± 0,50 <sup>b</sup>	1,97 ± 0,44 <sup>a</sup>	6,70 ± 1,52 <sup>c</sup>
PE	17,88 ± 2,55 <sup>b</sup>	18,10 ± 2,84 <sup>b</sup>	4,64 ± 0,39 <sup>a</sup>	16,61 ± 4,71 <sup>b</sup>
TPL	80,09 ± 12,77 <sup>a</sup>	72,50 ± 2,63 <sup>a</sup>	30,82 ± 2,62 <sup>b</sup>	70,83 ± 18,39 <sup>ab</sup>
MAG	nd	3,39 ± 2,28	7,13 ± 4,05	2,72 ± 0,51
CHO	5,76 ± 3,77 <sup>a</sup>	14,10 ± 3,09 <sup>b</sup>	7,12 ± 4,45 <sup>ab</sup>	0,54 ± 0,48 <sup>a</sup>
FFA	nd	nd	17,40 ± 3,87	10,88 ± 1,10
UK	nd	1,70 ± 0,96	2,34 ± 2,02	0,30 ± 0,39
TAG	7,34 ± 5,05 <sup>a</sup>	6,74 ± 3,97 <sup>a</sup>	35,19 ± 10,02 <sup>b</sup>	14,74 ± 18,88 <sup>ab</sup>
SE	5,84 ± 0,88	nd	nd	nd
TNL	19,91 ± 12,77 <sup>a</sup>	27,50 ± 2,63 <sup>a</sup>	69,18 ± 2,62 <sup>b</sup>	28,17 ± 18,40 <sup>ab</sup>

Los resultados se expresan como media ± desviación estándar (n=5 para *S. scombrus* y *T. trachurus*; n=3 para *S. pilchardus* y *S. maderensis*). Dentro de una misma fila superíndices diferentes indican diferencias significativas (p<0.05). SM, esfingomielinia; PC, fosfatidilcolina; PS, fosfatidilserina; PI, fosfatidilinositol; PG, fosfatidilglicerol; PE, fosfatidiletanolamina; TPL, lípidos polares totales; MAG, monoacilglicérol; CHO, colesterol; FFA, ácidos grasos libres; TAG, triacilglicérol; TNL, lípidos neutros totales, UK desconocido, nd no detectado.

Entre los lípidos neutros, estudiados destaca el valor de colesterol para *T. trachurus* (14,10 ± 3,09) estadísticamente similar al de la *S. pilchardus* (7,12 ± 4,45) aunque diferente para las demás especies. Esto podría deberse tanto al poder bioacumulativo del chicharro a través de la dieta como a la mayor capacidad de biosíntesis. Por esta razón se hace contraindicado el consumo de estas especies en personas hipercolesterolémicas o la sobrealimentación en personas sanas para la preservación de la salud general. Sin embargo, podría ser recomendado para personas que buscan un aumento de la masa magra libre de grasa combinado a un correcto ejercicio físico, siendo el colesterol un precursor de hormonas esteroideas estimuladoras de la MPS como la testosterona.

### Perfiles de ácidos grasos

De los datos obtenidos a partir de la determinación del perfil de ácidos grasos se han escogido para este Trabajo de Fin de Grado, un total de 18 variables de las 48 tratadas estadísticamente por su significación cuantitativa y/o importancia fisiológica: 14:0, 16:0, 18:0 16:1(n-7), 18:1(n-9), 18:2(n-6), 20:4(n-6), 20:5(n-3) y 22:6(n-3), contenido total de ácidos

grasos saturados (SFAs), monoinsaturados (MUFAs), poliinsaturados (PUFAs), n-6 y n-3 totales, n-3 de cadena larga altamente insaturados (n-3 LC-PUFAs), relación n-3/n-6, DHA/EPA y ARA/EPA.

Las especies presentan diferencias entre sí en muchas de las variables estudiadas (Tabla 4).

**Table 4.** Composición de los principales ácidos grasos (mg/100 g de pescado fresco) del músculo de las diferentes especies estudiadas.

Ácidos grasos	<i>Scomber scombrus</i>	<i>Trachurus trachurus</i>	<i>Sardinella pilchardus</i>	<i>Sardinella maderensis</i>
14:0	3.17 ± 1.50	6.49 ± 3.95	63.20 ± 27.59	6.30 ± 7.54
16:0	68.56 ± 15.45 <sup>b</sup>	112.30 ± 36.85 <sup>ab</sup>	279.58 ± 100.61 <sup>a</sup>	95.90 ± 16.82 <sup>b</sup>
18:0	34.42 ± 5.08 <sup>a</sup>	45.94 ± 17.25 <sup>a</sup>	64.86 ± 26.06 <sup>a</sup>	22.15 ± 3.76 <sup>b</sup>
SFA <sup>1</sup>	111.30 ± 22.62 <sup>b</sup>	173.86 ± 61.56 <sup>ab</sup>	437.87 ± 170.77 <sup>a</sup>	130.48 ± 30.52 <sup>b</sup>
16:1n-7	5.30 ± 1.40 <sup>ab</sup>	8.52 ± 4.34 <sup>ab</sup>	49.87 ± 19.03 <sup>a</sup>	5.72 ± 5.03 <sup>b</sup>
18:1n-9	28.37 ± 5.74 <sup>ab</sup>	44.36 ± 20.80 <sup>a</sup>	96.18 ± 37.42 <sup>a</sup>	16.99 ± 12.11 <sup>b</sup>
18:1n-7	8.56 ± 2.02 <sup>bc</sup>	12.09 ± 4.80 <sup>ab</sup>	29.45 ± 9.69 <sup>a</sup>	5.47 ± 1.55 <sup>c</sup>
∑ MUFA <sup>2</sup>	49.67 ± 10.29 <sup>a</sup>	74.91 ± 34.64 <sup>a</sup>	212.47 ± 83.51 <sup>b</sup>	35.70 ± 24.94 <sup>a</sup>
18:2n-6 (LA)	6.31 ± 1.57 <sup>ab</sup>	8.56 ± 6.17 <sup>ab</sup>	23.28 ± 11.64 <sup>a</sup>	5.61 ± 2.32 <sup>b</sup>
20:4n-6 (ARA)	13.73 ± 5.79 <sup>a</sup>	12.12 ± 7.35 <sup>a</sup>	17.30 ± 9.81 <sup>a</sup>	4.51 ± 0.90 <sup>b</sup>
∑ n-6 PUFA <sup>3</sup>	30.99 ± 8.74 <sup>ab</sup>	32.85 ± 19.29 <sup>ab</sup>	59.14 ± 30.93 <sup>a</sup>	17.96 ± 3.86 <sup>b</sup>
18:3n-3 (ALA)	1.99 ± 0.54 <sup>b</sup>	2.93 ± 1.58 <sup>ab</sup>	18.05 ± 8.49 <sup>a</sup>	2.61 ± 1.98 <sup>b</sup>
20:5n-3 (EPA)	19.25 ± 5.48 <sup>b</sup>	31.97 ± 14.57 <sup>ab</sup>	111.39 ± 49.46 <sup>a</sup>	18.68 ± 8.60 <sup>b</sup>
22:6n-3 (DHA)	148.19 ± 29.09 <sup>b</sup>	227.23 ± 71.39 <sup>ab</sup>	373.72 ± 139.74 <sup>a</sup>	155.67 ± 13.48 <sup>b</sup>
∑ n-3 PUFA	177.14 ± 36.44 <sup>b</sup>	277.70 ± 93.52 <sup>ab</sup>	558.87 ± 222.26 <sup>a</sup>	183.85 ± 23.16 <sup>b</sup>
∑ PUFA	209.33 ± 41.32 <sup>b</sup>	313.49 ± 113.90 <sup>ab</sup>	628.10 ± 255.83 <sup>a</sup>	203.45 ± 27.54 <sup>b</sup>
∑ LC-PUFA	173.95 ± 35.72 <sup>b</sup>	272.45 ± 91.43 <sup>ab</sup>	512.33 ± 199.58 <sup>a</sup>	178.45 ± 19.43 <sup>b</sup>
n-3/n-6	5.94 ± 1.53 <sup>a</sup>	9.45 ± 2.15 <sup>ab</sup>	9.99 ± 1.42 <sup>b</sup>	10.40 ± 1.08 <sup>b</sup>
ARA/EPA	0.73 ± 0.29 <sup>a</sup>	0.36 ± 0.06 <sup>ab</sup>	0.15 ± 0.02 <sup>c</sup>	0.26 ± 0.07 <sup>b</sup>
DHA/EPA	7.91 ± 0.96 <sup>a</sup>	7.52 ± 1.34 <sup>a</sup>	3.44 ± 0.34 <sup>b</sup>	9.32 ± 3.23 <sup>a</sup>
Total FA content	376.51 ± 82.63 <sup>b</sup>	578.43 ± 212.40 <sup>ab</sup>	1285.98 ± 509.95 <sup>a</sup>	375.70 ± 79.31 <sup>b</sup>

Los resultados se expresan como media ± desviación estándar (n=5 para *Scomber scombrus* y *Trachurus trachurus*; n=3 para *Sardinella pilchardus* y *Sardinella maderensis*). Superíndices distintos indican diferencias significativas (p < 0,05).

La especie que más diferencias presenta en cuanto a su composición en ácidos grasos con respecto al resto es la sardina. Si bien es cierto que presenta un contenido en DHA elevado (373,72 ± 139,74 mg/100 g de pescado fresco) y un ratio ARA/DHA muy bueno (0,15 ± 0,02), también cuenta con contenido LA más alto que el de las otras especies (23,28 ± 11,64 mg/100

g de pescado fresco). Esto ha de tenerse en cuenta a la hora de formular planes de alimentación por ejemplo en madres gestantes y lactantes dado que una dieta rica en AG de la serie n-6, podría reducir la tasa de conversión de ALA en DHA en un 50% (Bergmann et al., 2008).

El consumo de la sardina no parece ser muy indicada en personas con obesidad o en sobrepeso severo, analizando el perfil ácidos grasos saturados y el total de SFAs ( $437,87 \pm 170,77$  mg/100 g de pescado fresco) presente en esta especie, como el mirístico C14:0 ( $63,20 \pm 27,59$  mg/100 g de pescado fresco) y el palmítico C16:0 ( $279,58 \pm 100,61$  mg/100 g de pescado fresco). El aporte de grasas saturadas ya es elevado en el mundo occidental, por lo que es menos recomendable su consumo adicional a través del pescado.

Sin embargo, en el caso de personas con enfermedades de tipo inflamatorio, resulta beneficioso el consumo de la sardina con un ratio EPA/ARA excelente ( $0,15 \pm 0,02$ ). Esto la hace altamente recomendable para personas en estado de menopausia o menstruación, así como para enfermos de psoriasis y colitis ulcerosa, ya que un ratio bajo ARA/EPA ayuda a regular los procesos inflamatorios, disminuyendo así las molestias y síntomas de personas que se encuentran en estas circunstancias (Simopoulos, 1991). Los beneficios de introducir tanto la sardinella pilchardus como las otras especies analizadas en las dietas se hacen valiosos a la hora de combatir un variado abanico de patologías estrechamente relacionadas con la dieta proinflamatoria, como las enfermedades cardiovasculares, diabetes mellitus, trombosis, asma y depresión (Giugliano et al., 2006; Ramallal et al., 2015).

Cuanto a la caballa, el chicharro y el machuelo también presentan buenos valores de DHA y EPA, y un ratio EPA/DHA considerable, que junto a la sardina las hace indicadas tanto para la dieta de mujeres embarazadas (Jensen, 2006) y en periodo de lactancia (Koletzko et al., 2007), así como para personas con procesos de demencia, esquizofrenia y otras enfermedades del sistema nervioso central (Pomponi et al., 2014; Morgese et al., 2016, 2017).

Desde otra perspectiva, la caballa, el chicharro y el machuelo poseen unos valores moderados de LA, ALA, SFAs, y lípido total en comparación con la sardina, siendo aptas para las dietas en las cuales se prioriza la mantención o disminución del peso corporal.

### *Índices de calidad lipídica*

A partir de los resultados de composición de ácidos grasos reflejados en la Tabla 4, se calcularon tres índices diferentes para determinar el valor nutricional del músculo de las distintas especies de peces en estudio (Tabla 5).

**Tabla 5.** Valores de índices de aterogenicidad (IA), índice de trombogenicidad (IT) e índice de calidad de los lípidos de la carne (FLQ) de las distintas especies analizadas.

	<i>Scomber scombrus</i>	<i>Trachurus trachurus</i>	<i>Sardinella pilchardus</i>	<i>Sardinella maderensis</i>
IA	0,31 ± 0,03 <sup>b</sup>	0,36 ± 0,03 <sup>b</sup>	0,64 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,50 ± 0,08 <sup>a</sup>
IT	0,18 ± 0,01 <sup>ab</sup>	0,17 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,21 ± 0,01 <sup>c</sup>	0,20 ± 0,02 <sup>bc</sup>
FLQ	0,43 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,45 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,38 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,47 ± 0,06 <sup>a</sup>

Los resultados se expresan como media ± desviación estándar (n=5 para *Scomber scombrus* y *Trachurus trachurus*; n=3 para *Sardinella pilchardus* y *Sardinella maderensis*). Superíndices distintos indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

Los resultados evidencian que en términos de perfil de AG, la especie más saludable parece ser la caballa con un IA y FLQ de  $0,31 \pm 0,03$  y  $0,43 \pm 0,01$ , respectivamente, mientras que el chicharro presentó valores más elevados de ambos índices ( $0,36 \pm 0,03$  y  $0,45 \pm 0,03$ , respectivamente).

El machuelo destaca por poseer un índice FLQ interesante ( $0,47 \pm 0,06$ ) similar al del chicharro anteriormente comentado.

Sin embargo, a la hora de valorar el IA ( $0,50 \pm 0,08$ ) del machuelo, esta se agruparía junto a la sardina, la especie estudiada que peores índices presenta (IA=  $0,64 \pm 0,03$ ; IT=  $0,21 \pm 0,01$ ; FLQ=  $0,38 \pm 0,004$ ). Esto puede ser debido al mayor porcentaje de ácidos grasos saturados que lleva dicha sardina a diferencia con las otras especies analizadas. Sin embargo, no deja de ser una opción saludable, sobre todo en aquellas personas que siguen dietas que se fundamentan en las grasas como sustrato energético preferente como es el caso de las dietas cetogénicas o paleodietas.

## *Conclusiones*

- 1) Teniendo en cuenta el contenido lipídico y de minerales de las especies estudiadas, las hace recomendables para tanto personas que busquen una dieta baja en grasas, pero no tanto para cubrir las necesidades diarias de minerales. En este último caso se aconseja incluir en el plan de alimentación frutas y verduras.
- 2) Los gramos de proteína aportados por las especies se adaptan perfectamente a los requerimientos nutricionales y objetivos personales de personas sanas adultas.
- 3) La sardina posee un alto contenido en lípidos neutros como los ácidos grasos libres y triglicéridos lo que no la hace tan recomendable para personas que no metabolizan bien dichas grasas. Las demás especies aportan un gran porcentaje de lípidos polares donde están incluidos una variedad de fosfolípidos que pueden mediar cambios de la composición de la membrana celular y favorecer la salud individual. También ha de tenerse en cuenta el contenido de colesterol aportado por el chicharro pudiendo favorecer a deportistas que estén interesados en cambios en su composición corporal pero no a personas hipercolesterolémicas.
- 4) Los valores de n-3 LC-PUFA incluidos el EPA+DHA así como la relación ARA/EPA aportadas por todas las especies estudiadas son excelentes sobre todo en el caso de la sardina aunque proporcione más grasas saturadas. Una o dos raciones semanales de 100 g de esta especie podrían satisfacer los requerimientos dictados por la GOED haciendo imprescindible su inclusión en dietas para la mejora de la salud humana y el control de la malnutrición global.
- 5) En cuanto a los índices de calidad de lípido, se hace recomendable la inclusión en la dieta de la caballa y el chicharro tanto para personas con problemas cardiovasculares como para la población general.

## *Conclusions*

- 1) Taking into account the lipid and mineral content of the species studied, it makes them recommended for both people looking for a low-fat diet, but not so much to cover the daily mineral needs. In the latter case, it is advisable to include vegetables and food in the plan.

- 2) The grams of protein provided by the species of equal measure, varying the size of the servings (from 100 to 200g), are perfectly adapted to the nutritional requirements of any person and personal objectives.
- 3) Sardine has a high content of neutral lipids such as fatty acids and triglycerides, which makes it not so recommended for people who do not metabolize fats well. The other species provide a large percentage of polar lipids which include a variety of phospholipids that can mediate changes in the composition of the cell membrane and promote individual health. The cholesterol content provided by the pea must also be taken into account, which may favor athletes who are interested in changes in their body composition but not hypercholesterolemic people.
- 4) The values of n-3 LCPUFA including EPA + DHA as well as the ARA / EPA ratio provided by all the species studied are excellent, especially in the case of sardine, although it provides more saturated fat. One or two servings of 100g per week of this are able to meet the requirements dictated by the GOED, making it essential to include them in diets for the improvement of human health and the control of global malnutrition..
- 5) Regarding the lipid quality indexes, it is recommended to include mackerel and pea in the diet both for people with cardiovascular problems and the general population.

## Bibliografía

- Algarín, C., Nelson, C.A., Peirano, P., Westerlund, A., Reyes, S., Lozoff, B. (2013). Iron deficiency anemia in infancy and poorer cognitive inhibitory control at age 10 years. *Dev. Med. Child Neurol.* 55, 453–458.
- Alleyne, G.A., Young, V.H. (1967). Adrenocortical function in children with severe protein-calorie malnutrition. *Clin. Sci.* 33, 189–200.
- Among Children and Adolescents Aged 2–19 Years: United States, 1963–1965 Through 2015–2016. <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/58669>. Consultada el 30/05/21.
- Aragon, A.A., Schoenfeld, B.J., Wildman, R. et al. (2017). International society of sports nutrition position stand: diets and body composition. *J. Int. Soc. Sports. Nutr.* 14, 16.
- Auphan, N., Didonato, J.A., Helmborg, A., Rosette, C., Karin, M. (1997). Immunoregulatory genes and immunosuppression by glucocorticoids. *Arch. Toxicol. Suppl.* 19, 87–95.
- Bergmann, R., Haschke-Becher, E., Klassen-Wigger, P., Bergmann K., Richter R., Dudennhausen J., Grathwohl D., Haschke F. (2008). Supplementation with 200 mg/Day Docosahexenoic Acid from Mid-Pregnancy through Lactation Improves the Docosahexenoic Acid Status of Mothers with a Habitually Low Fish Intake and of Their Infants. *Ann. Nutr. Metab.* 52, 157-166.
- Portal del Cabildo de Tenerife, sección de acuicultura <https://www.tenerife.es/portalcabte/es/temas/pesca/acuicultura>. Consultada el 25/4/21.
- Calder, P.C. (2015). Functional roles of fatty acids and their effects on human health. *J. Parenter. Enter. Nutr.* 39(Suppl 1), 18–32.
- Casas, R., Sacanella, E., Estruch, R. (2014). The Immune Protective Effect of the Mediterranean Diet against Chronic Low-grade Inflammatory Diseases. *Endocr. Metab. Immune Disord.-Drug Targets.* 14(4), 245–254.
- Cervo, M.M.C., Scott, D., Seibel, M.J., Cumming, R.G., Naganathan, V., Blyth, F.M., Le Couteur, D.G., Handelsman, D. J., Ribeiro, R.V., Waite, L.M., Shivappa, N., Hebert, J.R., Hirani, V. (2019). Proinflammatory Diet Increases Circulating Inflammatory Biomarkers and Falls Risk in Community-Dwelling Older Men. *J. Nutr.* Volume 150, Issue 2, Pages 373–381.
- Chen, J., Liu, H. (2020). Nutritional Indices for Assessing Fatty Acids: A Mini-Review. *Int. J. Mol. Sci.* 21(16), 5695.
- Chytrova, G., Ying, Z., Gomez-Pinilla, F. (2010). Exercise contributes to the effects of DHA dietary supplementation by acting on membrane related synaptic systems. *Brain Res.* 1341, 32–40.
- Cole, T.J., Bellizzi, M.C., Flegal, K.M., Dietz, W.H. (2000). Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: an international survey. *BMJ-Brit. Med. J.* 320, 1–6.
- Dobbing, J. (1982). The later development of the brain and its vulnerability. *J. Inherit. Metab. Dis.* 5, 88.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, sección Fisheries Aquaculture <http://www.fao.org/fishery/en>. Consultada el 20/5/21.
- Friedman, A.N. (2004). High-protein diets: potential effects on the kidney in renal health and disease. *Am. J. Kidney Dis.* 44, 950–62.
- Fryar, C.D., Carroll, M.D., Afful, J. (2020). Prevalence of overweight, obesity, and severe obesity among adults aged 20 and over: United States, 1960–1962 through 2017–2018. *NCHS Health E-Stats.* <https://www.cdc.gov/nchs/data/hestat/obesity-adult-17-18/obesity-adult.htm> consultada el 20/4/21.
- 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.
- Global Organization for EPA and DHA Omega-3s. (2015). Global recommendations for EPA and DHA intake. p. 1-17.
- Goetz, C.G. (2011). The history of Parkinson's disease: early clinical descriptions and neurological therapies. *Cold Spring Harb. Perspect. Med.* 1, 1.
- Gorjao, R., Dos Santos, C.M.M., Serdan, T.D.A., Diniz, V.L.S., Alba-Loureiro, T.C., Cury-Boaventura M.F., Hatanaka E., Levada-Pires, A.C., Sato, F.T., Pithon-Curi, T.C., Fernandes, L.C., Curi, R., Hirabara, S.M. (2019). New insights on the regulation of cancer cachexia by N-3 polyunsaturated fatty acids. *Pharmacol. Ther.* 196, 117–34.

- Gortmaker, S.L., Must A., Perrin, J.M., Sobol, A.M., Dietz, W.H. (1993). Social and economic consequences of overweight in adolescence and young adulthood. *N Engl J Med.* 329, 1008–1012.
- Heras-Sandoval, D., Pedraza-Chaverri, J., Perez-Rojas, J.M. (2016). Role of docosahexaenoic acid in the modulation of glial cells in Alzheimer's disease. *J. Neuroinflamm.* 13, 61.
- Hussein N., Ah-Sing E., Wilkinson P., Leach C., Griffin B.A., Millward D.J. (2005) Long-chain conversion of [<sup>13</sup>C] linoleic acid and  $\alpha$ -linolenic acid in response to marked changes in their dietary intake in men. *J. Lipid Res.*, 46(2), 269–280.
- Ishibashi, M., Kyojuka, H., Yamaguchi, A., Fujimori, K., Hosoya, M., Yasumura, S., Masahito, K., Sato, A., Ogata, Y., Hashimoto, K. (2020). Effect of proinflammatory diet before pregnancy on gestational age and birthweight: The Japan Environment and Children's Study. *Matern. Child Nutr.*, 16(2), e12899.
- La pesca en las Islas Canarias. Publications Office of the European Parliament. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/f1961ae1-7273-11e5-9317-01aa75ed71a1/language-es>. Consultada el 24/04/21.
- Jensen, C.L. (2006). Effects of n-3 fatty acids during pregnancy and lactation. *Am. J. Clin. Nutr.*, 83(Suppl), 1452–1457.
- Jeromson S., Mackenzie, I., Doherty, M.K., Whitfield, P.D., Bell, G., Dick, J., Shaw, A., Rao, F.V., Ashcroft, S.P., Philp, A., Galloway, S.D.R., Gallagher, I., Hamilton, D.L. (2018). Lipid remodeling and an altered membrane-associated proteome may drive the differential effects of EPA and DHA treatment on skeletal muscle glucose uptake and protein accretion. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 314, E605–19.
- Kerstetter, J.E., O'Brien, K.O., Caseria, D.M., Wall, D.E., Insogna, K.L. (2005). The impact of dietary protein on calcium absorption and kinetic measures of bone turnover in women. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 90, 26–31.
- Koletzko, B., Cetin, I., Thomas Brenna, J. (2007). Dietary fat intakes for pregnant and lactating women. *Br. J. Nutr.*, 98(5), 873–877.
- Lukowski, A.F., Koss, M., Burden, M.J., Jonides, J., Nelson, C.A., Kaciroti, N., Jimenez, E., Lozoff, B. (2010). Iron deficiency in infancy and neurocognitive functioning at 19 years: evidence of long-term deficits in executive function and recognition memory. *Nutr. Neurosci.*, 13, 54–70.
- Smith M.I., Yatsunenkov T., Manary M.J., Trehan I., Mkakosya R., Cheng J., Kau A.L., Rich S.S., Concannon P., Mychaleckyj, J.C., Liu J., Houghton, E., Li, J.V., Holmes, E., Nicholson, J., Knights, D., Ursell, L.K., Knight, R., Gordon, J.I. (2013). Gut microbiomes of Malawian twin pairs discordant for kwashiorkor. *Science*, 339(6119), 548–54.
- Umesawa, M., Sato S., Imano, H., Kitamura, A., Shimamoto, T., Yamagishi, K., Tanigawa, T., Iso, H. (2009). Relations between protein intake and blood pressure in Japanese men and women: the Circulatory Risk in Communities Study (CIRCS). *Am. J. Clin. Nutr.*, 90(2), 377–84.
- Mojtahedi, M.C., Thorpe, M.P., Karampinos, D.C., Johnson, C.L., Layman, D.K., Georgiadis, J.G., Evans, E.M. (2011). The effects of a higher protein intake during energy restriction on changes in body composition and physical function in older women. *J. Gerontol. A Biol. Sc. Med. Sci.*, 66, 1218–25.
- Morgese, M., Trabace, L. (2016). Maternal malnutrition in the etiopathogenesis of psychiatric diseases: role of polyunsaturated fatty acids. *Brain Sci.*, 6(3), 24.
- Morgese, M.G., Tucci, P., Mhillaj, E., Bove, M., Schiavone, S., Trabace, L. (2017). Lifelong nutritional omega-3 deficiency evokes depressive-like state through soluble beta amyloid. *Mol. Neurobiol.*, 54(3), 2079–2089.
- Mozafarian, D., Wu, J.H.Y. (2011). Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease effects on risk factors, molecular pathways, and clinical events. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 58(20), 2047–2067.
- Ozsoy, O., Seval-Celik, Y., Hacioglu, G., Yargicoglu, P., Demir, R., Agar, A., Aslan, M. (2011) The influence and the mechanism of docosahexaenoic acid on a mouse model of Parkinson's disease. *Neurochem. Int.*, 59(5), 664–670.
- Palmer, G., Bonjour, J.P., Caverzasio, J. (1996). Stimulation of inorganic phosphate transport by insulin-like growth factor I and vanadate in opossum kidney cells is mediated by distinct protein tyrosine phosphorylation processes. *Endocrinology*, 137, 4699–705.
- Peter, C.J., Fischer, L.K., Kundakovic, M., Garg, P., Jakovcevski, M., Dincer, A., Amaral, A.C., Ginns, E.I., Galdzicka, M., Bryce, C.P., Ratner, C., Waber, D.P., Mokler, D., Medford, G., Champagne, F.A., Rosene, D.L., McGaughy, J.A., Sharp, A.J., Galler, J.R., Akbarian, S., (2016). DNA Methylation signatures of early childhood malnutrition associated with impairments in attention and cognition. *Biol. Psychiatry*, 80, 765–774.

- Phillips, S.M., Fulgoni, V.L. 3rd, Heaney, R.P., Nicklas, T.A., Slavin, J.L., Weaver, C.M. (2015). Commonly consumed protein foods contribute to nutrient intake, diet quality, and nutrient adequacy. *Am. J. Clin. Nutr.*, 101(6), 1346S-1352S.
- Phillips, S.M. (2011). The science of muscle hypertrophy: making dietary protein count. *Proc. Nutr. Soc.*, 70, 100-3.
- Pizato, N., Bonatto, S., Yamazaki, R.K., Aikawa, J., Nogata, C., Mund, R.C., et al. (2005). Ratio of n6 to n-3 fatty acids in the diet affects tumor growth and cachexia in Walker 256 tumor-bearing rats. *Nutr. Cancer*, 53, 194–201.
- Pomponi, M., Loria, G., Salvati, S., Di Biase, A., Conte, G., Vilella, C. et al (2014). DHA effects in Parkinson disease depression. *Basal Ganglia*, 4(2), 61–66.
- Portal del Gobierno de Canarias, sección de pesca y especies de interés pesquero de Canarias [https://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/temas/biodiversidad/pesca/informacion/especies\\_de\\_interes\\_pesquero\\_prohibido\\_en\\_canarias/](https://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/temas/biodiversidad/pesca/informacion/especies_de_interes_pesquero_prohibido_en_canarias/). Consultada el 25/4/21.
- Powers, S.K., Smuder, A.J., Criswell, D.S. (2011). Mechanistic links between oxidative stress and disuse muscle atrophy. *Antioxid. Redox Signal.*, 15, 2519–28.
- Ramallal, R., Toledo, E., Martínez-González, M.A., Hernández- Hernández, A. (2015). Dietary inflammatory index and incidence of cardiovascular disease in the SUN cohort. *PLoS One*, 10, e0135221.
- Rodríguez, N. R. (2015). Introduction to Protein Summit 2.0: continued exploration of the impact of high-quality protein on optimal health. *Am. J. Clin. Nutr.*, 101(6), 1317S-1319S.
- Savino, W. (2002). The thymus gland is a target in malnutrition. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 56 (Suppl 3): S46–S49.
- Schürch, M.A., Rizzoli R., Slosman, D., Vadas, L., Vergnaud, P., Bonjour, J.P. (1998). Protein supplements increase serum insulin-like growth factor-I levels and attenuate proximal femur bone loss in patients with recent hip fracture. A randomized, double blind, placebo-controlled trial. *Ann. Intern. Med.*, 128, 801–9.
- Simopoulos, A.P. (2008). The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. *Exp. Biol. Med.*, 233(6), 674–688.
- Simopoulos, A.P. (2016). An increase in the omega-6/omega-3 fatty acid ratio increases the risk for obesity. *Nutrients.*, 8(3), 1–17.
- Simopoulos, A.P. (1991). Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development. *Am. J. Clin. Nutr.*, 54, 438-556.
- Subramanian, S., Huq, S., Yatsunenko, T., Haque, R., Mahfuz, M., Alam, M.A., Benezra, A., DeStefano, J., Meier, M.F., Muegge, B.D., Barratt, M.J., VanArendonk, L.G., Zhang, Q., Province, M.A., Petri Jr, W.A., Ahmed, T., & Gordon, J.I. (2014). Persistent gut microbiota immaturity in malnourished Bangladeshi children. *Nature.*, 510, 417–421.
- Suchdev, P.S., Boivin, M.J., Forsyth, B.W., Georgieff, M.K., Guerrant, R.L., Nelson, C.A. (2017). Assessment of Neurodevelopment, Nutrition, and Inflammation from Fetal Life to Adolescence in Low-Resource Settings. *Pediatrics.*, 139(Supplement 1), S23-S37.
- Tang, M., Krebs, N.F. (2014). High protein intake from meat as complementary food increases growth but not adiposity in breastfed infants: a randomized trial. *Am. J. Clin. Nutr.*, 100(5), 1322-8.
- Vucenik, I., Stains, J.P. (2012). Obesity and cancer risk: evidence, mechanisms, and recommendations. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1271(1), 37–43.
- Waber, D.P., Bryce, C.P., Girard, J.M., Zichlin, M., Fitzmaurice, G.M., Galler, J.R., (2014). Impaired IQ and academic skills in adults who experienced moderate to severe infantile malnutrition: a 40-year study. *Nutr. Neurosci.*, 17, 58–64.
- Wong S.W., Kwon M.J., Choi A.M., Kim H.P, Nakahira K., Hwang D.H. (2009). Fatty acids modulate Toll-like receptor 4 activation through regulation of receptor dimerization and recruitment into lipid rafts in a reactive oxygen species-dependent manner. *J. Biol. Chem.*, 284, 27384–92.
- Woods, S.C. (2004). Gastrointestinal satiety signals. An overview of gastrointestinal signals that influence food intake. *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver. Physiol.*, 286, G7–13.
- Xu, H., Sjögren, P., Ärnlov, J., Banerjee, T., Cederholm, T., Risérus, U., Lindholm, B., Lind, L., Carrero, J. J. (2015). A Proinflammatory Diet Is Associated with Systemic Inflammation and Reduced Kidney Function in Elderly Adults. *J. Nutr.*, 145(4), 729–735.
- Zamaria, N. (2004). Alteration of polyunsaturated fatty acid status and metabolism in health and disease. *Reprod. Nutr. Dev.*, 44(3), 273–282.

## BIBLIOGRAFÍA

---

Zárate, R., Jaber-Vazdekis, N., Tejera, N., Pérez, J. A., Rodríguez, C. (2017). Significance of long chain polyunsaturated fatty acids in human health. *Clin. Transl. Med.*, 6(1).