

# Hidrólisis enzimática de residuos del procesamiento de surel (*Trachurus lathami*): caracterización de las fracciones obtenidas

## Enzymatic hydrolysis of residues from the rough scad *Trachurus lathami* processing: characterization of the obtained fractions

Lamas, Daniela; Massa Agueda, Elena

Daniela Lamas

dlamas@inidep.edu.ar

Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (IIMyC-CONICET), Argentina

Elena Massa Agueda

Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (IIMyC-CONICET), Argentina

### Revista Científica

Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

ISSN-e: 2224-5545

Periodicidad: Semestral

vol. 30, núm. 2, 2022

[almadariaga1@gmail.com](mailto:almadariaga1@gmail.com)

Recepción: 23 Marzo 2021

Aprobación: 23 Marzo 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/50/502701012/>

DOI: <https://doi.org/10.54495/Rev.Cientifica.v30i2.277>

a. Los autores/as conservan los derechos de autor y ceden a la revista el derecho de la primera publicación, con el trabajo registrado con la licencia de atribución de Creative Commons 4.0, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista. b. Los autores/as pueden realizar otros acuerdos contractuales independientes y adicionales para la distribución no exclusiva de la versión del artículo publicado en esta revista (p. ej., incluirlo en un repositorio institucional o publicarlo en un libro) siempre que indiquen claramente que el trabajo se publicó por primera vez en esta revista. c. Se permite y recomienda a los autores/as a compartir su trabajo en línea (por ejemplo: en repositorios institucionales o páginas web personales) antes y durante el proceso de envío del manuscrito, ya que puede conducir a intercambios productivos, a una mayor y más rápida citación del trabajo publicado.



**Resumen:** El surel (*Trachurus lathami*) es un pez pelágico-costero que se captura de forma incidental durante la pesquería de caballa, constituyendo un descarte. La elaboración de conservas de surel descabezado y eviscerado es una estrategia utilizada para rentabilizar esta especie. Esta forma de comercialización genera una gran cantidad de residuos que constituyen una fuente rica de biocompuestos de interés comercial, entre los que se encuentran las proteínas y los ácidos grasos poliinsaturados de la serie omega-3. El objetivo del presente trabajo fue estudiar las fases acuosas proteica y oleosa lipídica obtenidas mediante hidrólisis enzimática de residuos de surel. Para la reacción se utilizaron las proteasas alcalinas comerciales Alcalase® 2.4L y Purazyme AS 60L. Las condiciones fueron pH 8.0 y 55 °C, durante 2 h, en un reactor termostatzado. La fase acuosa obtenida mostró un contenido proteico de alrededor del 73 % con ambas enzimas. El rendimiento del aceite extraído fue de aproximadamente el 58 % con Alcalase® 2.4L y de alrededor del 68 % con Purazyme AS 60L. Dentro de los ácidos grasos poliinsaturados se destacó el contenido de eicosapentaenoico (EPA) y docosahexaenoico (DHA) para ambos aceites obtenidos. Esto sugiere que a partir de cabezas y vísceras de *Trachurus lathami* se pueden obtener compuestos de interés para el aprovechamiento integral de estas pesquerías.

**Palabras clave:** *Trachurus lathami*, aprovechamiento de subproductos, proteínas, aceite, ácidos grasos Omega-3.

**Abstract:** The rough scad (*Trachurus lathami*) is a coastal-pelagic fish that is caught incidentally during the mackerel fishery, constituting a discard. The elaboration of canned rough scad headed and gutted is a strategy to make this species profitable. This form of commercialization generates a large amount of waste that constitutes a rich source of biocompounds of commercial interest, among which are proteins and polyunsaturated fatty acids of the Omega-3 series. The objective of this work was to study the liquid proteic and oily lipid phases obtained by enzymatic hydrolysis of rough scad residues. For the reaction, the commercial alkaline proteases Alcalase® 2.4L and Purazyme AS 60L were used. The conditions were pH 8.0 and 55 °C, for 2 hours, in a thermostatzed reactor. The liquid phase obtained showed a protein content of around

Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional](#).

73% with both enzymes. The yield of the extracted oil was 58% with Alcalase® 2.4L and 68% with Purazyme AS 60L. Within the polyunsaturated fatty acids, the content of eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) stood out for both oils obtained. This suggests that compounds of interest can be obtained. The heads and viscera of *Trachurus lathami* for the utilization of these fisheries.

**Keywords:** *Trachurus lathami*, use of by-products, proteins, oil, Omega-3 fatty acids.

## INTRODUCCIÓN

El surel (*Trachurus lathami*) es un pez pelágico-costero que se distribuye en el océano Atlántico Occidental, desde el Golfo de Maine en los Estados Unidos (43°N) hasta el golfo de San Matías (47°S) en Argentina. El surel es capturado incidentalmente en la pesquería de caballa y es descartado por la flota comercial. En los últimos años, se han desarrollado diversas investigaciones para rentabilizar los descartes pesqueros y obtener productos de alto valor añadido. Entre los principales procesos productivos evaluados se encuentra la elaboración de conservas, generándose una gran cantidad de subproductos o residuos (cabezas y vísceras principalmente) que constituyen una fuente importante de biocompuestos de interés comercial.

Tradicionalmente estos residuos se destinan a la elaboración de harina y aceite de pescado. Sin embargo, la producción de harina necesita un suministro regular de grandes volúmenes de materia prima y su elaboración implica el uso de temperaturas elevadas que generan reacciones químicas que reducen la digestibilidad de las proteínas, la biodisponibilidad de aminoácidos y ácidos grasos esenciales (Massa et al., 2016).

En este sentido, diversas investigaciones han focalizado en el aprovechamiento de los desechos pesqueros mediante métodos no agresivos que permitan revalorizarlos, elaborando productos que mantengan sus propiedades nutritivas. Una de las alternativas altamente valoradas es la hidrólisis enzimática, mediante la cual enzimas proteolíticas exógenas digieren las proteínas presentes en los residuos pesqueros obteniendo una fracción soluble denominada hidrolizado proteico de pescado FPH, por sus siglas en inglés (Kechaou et al., 2009) y una fracción lipídica. La fracción proteica que se recupera está constituida por péptidos de bajo peso molecular, que pueden ser utilizados en distintos sectores industriales. Se han identificado una amplia variedad de péptidos presentes en los FPH de pescado con potencial nutracéutico por su contribución beneficiosa para la salud, debido a que pueden presentar capacidad antioxidante y modulante de la tensión arterial (inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina, ACE) (Guerard, 2006; Laroque et al., 2008). En la industria alimentaria, los FPH han mostrado desempeñar una gran variedad de funciones, como sustitutos de la leche, suplementos proteicos, o como estabilizadores en bebidas y potenciadores del sabor en productos de confitería (Foh et al., 2012). También han sido estudiados como aditivos alimentarios por su solubilidad ya que mejoran propiedades como la emulsificación y gelación (Kristinsson & Rasco, 2000). Una línea de investigación incipiente, se enfoca en el uso de FPH como fuente de nitrógeno para cultivo de microorganismos (Ghaly et al., 2013).

El aceite de pescado es un producto industrial de gran valor nutricional, debido a su contenido en ácidos grasos poliinsaturados Omega-3 de cadena larga (PUFA n-3), principalmente el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA) (Valenzuela et al., 2012; Bonilla-Méndez & Hoyos-Concha, 2018). Estos ácidos grasos son altamente valorados por sus propiedades benéficas y terapéuticas en el campo nutricional y de la salud humana (Fournier et al., 2007; Zhong et al., 2007). Convencionalmente la extracción de aceite es por cocción, proceso que requiere condiciones drásticas de temperatura y presión para la coagulación de proteínas y la subsecuente liberación de aceite. Estas condiciones pueden generar reacciones de degradación que modifican parcialmente los ácidos grasos poliinsaturados presentes en la fase

lipídica (Linder et al., 2005; Mbatia et al., 2010). Otro método utilizado es la extracción por solventes, que generalmente se aplica para propósitos analíticos, pero no para producción industrial, ya que utiliza sustancias con restricciones para la industria alimentaria (Rubio-Rodríguez et al., 2012), es destructiva, implica un alto consumo de tiempo y genera grandes cantidades de solvente residual (Adeoti & Hawboldt 2014). La hidrólisis enzimática constituye una alternativa tecnológicamente viable para recuperar los ácidos grasos poliinsaturados debido a las suaves condiciones de reacción (Głowacz-Rozynska et al., 2016, Lamas & Massa, 2019).

El objetivo del presente trabajo fue valorizar residuos de surel *Trachurus lathami* constituidos principalmente por cabezas y vísceras. Se estudió la composición proximal de la fase acuosa proteica obtenida mediante hidrólisis enzimática y la extracción de aceite de pescado, su rendimiento, caracterización fisicoquímica y el contenido de ácidos grasos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras biológicas utilizadas en el presente trabajo constaron de cabezas y vísceras de tres lotes de surel (*Trachurus lathami*). Estas muestras fueron obtenidas de campañas de investigación realizadas por el Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero durante el año 2019, en el área de distribución del efectivo bonaerense de la especie (34°-42°S; 62°-52°W), desde la costa hasta los 100 m de profundidad. Las muestras fueron separadas en lotes de 15 ejemplares, pesadas, medidas, descabezadas y evisceradas. Luego se acondicionaron en bolsas de polietileno y se congelaron a -80 °C, hasta su uso.

Para caracterizar los residuos de surel se analizó su composición proximal. Las proteínas se determinaron por el método Kjeldahl, de la Association of Official Analytical Chemists & Helrich AOAC 240.27, 1990). Para la transformación del nitrógeno en proteína bruta se utilizó el factor AOAC conversión N\*6,25. La humedad se cuantificó mediante desecación en estufa a temperatura de 105°C hasta peso constante (AOAC 952.08, 1990). Las cenizas se determinaron por calcinación en mufla a 550 °C de temperatura, hasta la obtención de cenizas blancas y peso constante (AOAC 938.08, 1990). Los lípidos fueron extraídos y cuantificados por el método de Bligh & Dyer, (1959). Para determinar nitrógeno básico volátil total (NBVT) se usó la norma de la Comisión de las Comunidades Europeas (CEE) 149 (1995) y el ensayo de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) fue realizado de acuerdo a Tironi (2005).

La reacción de hidrólisis se realizó utilizando 2 enzimas: la enzima Alcalase® 2.4L una endopeptidasa de *Bacillus licheniformis* de grado alimenticio. Además, se trabajó con la enzima Purazyme AS 60L (alkaline serine proteasa, de *Bacillus licheniformis*), producto considerado GRAS (Generally Recognized as Safe) para la modificación de proteínas y producción de alimentos para mascotas, entre otras aplicaciones.

La hidrólisis se realizó en un reactor termostatazado con agitación constante. Se mezclaron partes iguales del homogenato (aproximadamente 50 g) y agua destilada a 50 °C. La mezcla se estabilizó en las condiciones óptimas de las enzimas utilizadas (pH 8.0 ± 0.3 y temperatura en 55 ± 2,5 °C). El proceso se inició con el agregado de la proteasa (relación enzima/materia prima 2 %), siendo el pH controlado con la adición de NaOH 1 M. La reacción tuvo una duración de 1 h y posteriormente la temperatura se aumentó a 85 °C durante 10 min para inactivar la enzima. El hidrolizado se centrifugó a 20,000 g (RCF) durante 30 min a 4 °C. Finalmente, los tubos se colocaron verticalmente en congelador (a -18 °C) y todas las fracciones: fase oleosa y acuosa proteica y fase insoluble (lodos) fueron separadas cortando el contenido congelado de los tubos.

La determinación del grado de hidrólisis (GH) se realizó mediante el método pH-Stat, basado en el volumen básico consumido para mantener el pH de la reacción constante, usando la siguiente ecuación (Adler-Nissen, 1986):  $GH (\%) = (B \cdot N \cdot 100) / (\alpha \cdot Mp \cdot htot)$

Dónde B es el consumo básico en mL, N: la normalidad de la base  $\alpha$ : grado medio de disociación de los grupos -NH o -COOH [ $\alpha = (10^{pH} - pK) / (1 + 10^{pH} - pK)$ ], donde  $pK = 7.8 + (298 - T) / (298 \cdot T)$ .

2,400 (T: temperatura en Kelvin)]; MP: masa de proteína en gramos (%N x 6.25); y htot: número total de enlaces peptídicos en el sustrato.

A fin de evaluar el proceso, uno de los parámetros determinados fue el rendimiento de la reacción enzimática en términos de extracción de aceite. El mismo se expresó como el porcentaje del aceite crudo extraído enzimáticamente (WOEM) en relación con el contenido de aceite en los residuos obtenidos por el método de Bligh & Dyer (WOBD).

$$\text{Rendimiento \%} = (\text{WOEM} / \text{WOBD}) * 100$$

El aceite obtenido fue sometido a la determinación de los índices físicos: humedad y contenido de material volátil mediante el método de la estufa de vacío de la American Oil Chemists' Society (AOCS) & Firestone Ja 2a-46 (2009), densidad relativa determinada utilizando un picnómetro calibrado a 20 °C, y color medido en escala de color Gardner (Gardner-Delta Color Comparator Pacific Scientific Bethesda, Maryland, USA). El comparador consta de un arreglo de dos ruedas en las están incrustadas nueve filtros de vidrio óptico de color. Los filtros van desde el agua blanca hasta el ámbar profundo. Se coloca un tubo con la muestra de aceite entre las dos ruedas de filtro y se giran las mismas hasta que el filtro de vidrio más cercano en color al aceite esté en su lugar, arrojando la notación que describe el parámetro (AOCS Td 1a-64, 2009).

Para caracterizar nutricionalmente los aceites obtenidos, se determinó el perfil de ácidos grasos. Una alícuota de cada muestra de aceite fue pesada a la milésima parte, y posteriormente, se realizó una metilación según la norma de la International Organization for Standardization (ISO) (2011). El aceite fue disuelto con isooctano hasta una concentración de 1 mg/mL en un tubo de vidrio, seguidamente se le adicionaron 0.5 mL de KOH/MeOH (2 mol/L). La mezcla fue agitada con vortex durante 1 min y se le agregó NaCl (solución saturada al 40 %) en igual volumen que el isooctano. Esta solución se agitó nuevamente por 10 s y la fase superior se transfirió a un tubo limpio. Los ésteres metílicos de los ácidos grasos (FAME, del inglés *Fatty Acid Methyl Esters*) fueron separados e identificados en un cromatógrafo gaseoso Shimadzu® GC-2010, equipado con un inyector split (T° = 250 °C; tasa de split = 5.0), una columna capilar de sílica fundida Omegawax Supelco® 320 (30 m de longitud, 0.32 mm de diámetro interno, 0.25 µm de espesor del film de la fase estacionaria) y un detector de ionización a la llama (FID, del inglés Flame Ionization Detector, T° = 260 °C). El programa de temperatura utilizado en la columna comenzó con un valor de 50 °C, seguido de un incremento de 55 °C/min hasta 200 °C, sosteniendo esta última temperatura durante 14 min, siendo helio el gas portador empleado. La corrida cromatográfica tuvo una duración total de 40 min. Para identificar los ácidos grasos, se emplearon estándares comerciales de ácidos grasos de organismos marinos (Supelco® FAME Mix C4-C24 + PUFA No 1 Marine Source) cuyos tiempos de retención fueron utilizados para compararlos con los ácidos grasos presentes en la muestra. Los cromatogramas resultantes de cada corrida se analizaron con el software GCsolution (Shimadzu®).

En las determinaciones realizadas por duplicado se informan los dos valores obtenidos.

## RESULTADOS

### Características físicas y químicas de los residuos de surel

En la tabla 1 se presenta la caracterización de los residuos de surel, donde se observa que aproximadamente el 70 % fue agua y el 30 % representó materia seca. El mayor componente de interés nutricional fue la proteína cruda seguida del contenido graso y ceniza total. La determinación de bases volátiles totales utilizada como medida para evaluar la calidad de los productos pesqueros, arrojó valores cercanos a 25 mg/100 g de producto. Este término general que incluye la medición de algunos compuestos básicos volátiles como la trimetilamina, dimetilamina, amoniaco y otros compuestos nitrogenados da una idea de la frescura de la materia prima, ya que los mismos se generan como consecuencia de los procesos de deterioro (Márquez Figueroa et al., 2006). Otro análisis de calidad nutricional realizado fue TBARS, que cuantifica el malonaldehído (MDA), uno de

los principales productos formados durante el proceso oxidativo. Los valores de TBARS obtenidos oscilaron entre 0.9 y 1.29 mg MDA/kg de pescado.

TABLA 1.  
Composición proximal de cada lote de residuos analizados.

| LOTE | Humedad % | Cenizas % | Proteínas % | Lípidos % | NBVT mg/100 g | TBARS |
|------|-----------|-----------|-------------|-----------|---------------|-------|
| 1    | 73.85     | 4.95      | 12.37       | 6.82      | 24.91         | 1.33  |
|      | 73.92     | 4.33      | 12.97       | 6.79      | 25.47         | 1.27  |
| 2    | 73.75     | 5.10      | 14.75       | 6.48      | 23.73         | 0.82  |
|      | 73.06     | 4.97      | 14.22       | 6.16      | 23.45         | 0.85  |
| 3    | 72.35     | 4.47      | 16.08       | 7.22      | 24.37         | 1.11  |
|      | 71.70     | 4.80      | 16.53       | 7.31      | 24.08         | 1.18  |

\*Datos propios obtenidos del análisis proximal de residuos de surel. Los ejemplares de surel fueron capturados durante una campaña de investigación del Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP) realizada en 2019.

#### Caracterización del hidrolizado proteico

En la tabla 2 se presentan los resultados de la composición proximal de los hidrolizados obtenidos y la muestra control expresados en base a materia seca. El contenido de ceniza disminuyó casi a la mitad en los hidrolizados respecto del control, siendo mayor en el hidrolizado obtenido con Purazyme AS 60L. La proteína cruda alcanzó desde aproximadamente el 55 % en el control hasta alrededor del 73 % en ambos hidrolizados, mientras que el contenido graso descendió significativamente después del tratamiento con ambas enzimas.

TABLA 2.  
Composición proximal de los hidrolizados proteicos de *Trachurus lathami*.

| Muestra          | Cenizas% | Proteínas% | Lípidos% |
|------------------|----------|------------|----------|
| Residuos         | 17.11    | 54.61      | 24.93    |
|                  | 19.5     | 56.64      | 27.18    |
| Alcalase® 2.4L   | 7.80     | 74.61      | 17.60    |
|                  | 9.0      | 71.92      | 19.09    |
| Purazyme AS 60 L | 9.62     | 74.06      | 16.31    |
|                  | 11.53    | 72.93      | 15.54    |

#### Rendimiento y caracterización del aceite extraído

En la tabla 3 se puede observar que el rendimiento fue mayor con Purazyme AS 60L. Ambas enzimas lograron extraer porcentajes mayores al 50 % respecto de los lípidos totales presentes.

TABLA 3.  
Rendimiento del aceite extraído.

| Muestra          | Rendimientos % |
|------------------|----------------|
| Alcalase® 2.4L   | 57.07          |
|                  | 59.86          |
| Purazyme AS 60 L | 68.91          |
|                  | 67.18          |

Los valores de humedad y contenido de material volátil, fueron menores al 1 % en ambos aceites. La densidad relativa fue ligeramente alta, siendo 0.991 g/mL y 0.997 g/mL para los aceites obtenidos con Alcalase® 2.4L y Purazyme AS 60L, probablemente debido al contenido de impurezas arrastradas durante la separación de fases. La escala de color Gardner presenta una serie de 18 variaciones de color que van desde casi transparente, amarillo claro (Gardner 1) a marrón oscuro (Gardner 18). Gardner 0 está definido por agua destilada limpia (Hasnul Hadi et al., 2021).

En el presente trabajo, la escala de color Gardner arrojó valores entre 7 y 8 para el aceite obtenido con Alcalase® 2.4L y entre 9 y 10 para el aceite obtenido con Purazyme AS 60L (Figura 1). Ambos aceites se visualizaron amarillentos, brillantes y transparentes.

La valoración nutricional de los aceites obtenidos fue evaluada mediante la determinación del perfil de ácidos grasos presentes. La tabla 3 muestra el perfil porcentual del contenido de ácidos grasos obtenidos por la fracción extraída mediante Bligh & Dyer a partir de la materia prima de origen, y las muestras obtenidas por extracción enzimática a partir del residuo.

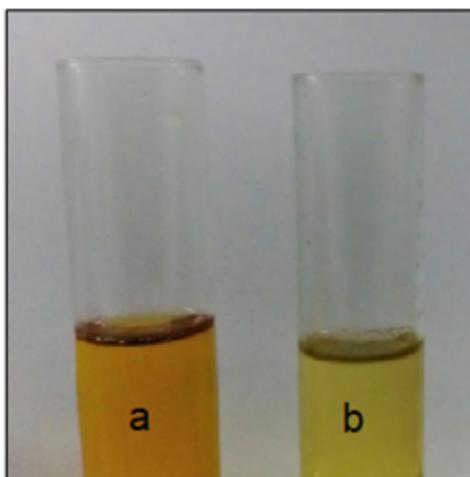


FIGURA 1.  
Muestras sometidas a la escala de color Gardner a) aceite obtenido con la enzima Purazyme AS 60L, b) aceite obtenido con Alcalase® 2.4L.

## DISCUSIÓN

Los macronutrientes encontrados en la materia prima arrojaron valores que resultan de interés. Tanto el contenido proteico como el lipídico indican un potencial tecnológico del residuo para la extracción de este tipo de compuestos. Los datos de NVBT se encuentran por debajo de los límites de aceptabilidad establecidos

por el Código Alimentario Argentino (CAA 1969) (30 mg NBVT/100 g de pescado), y la Comisión de las Comunidades Europeas (35 mg NBVT/100 g de pescado) (CEE Reglamento (CE) N° 1022/2008.). Respecto a los análisis de TBARS, todos los valores están por debajo de 2 mg MDA/kg, límites indicados como sensorialmente perceptibles y valor necesario para considerar la materia prima en buenas condiciones (Chow, 2007). Otros autores indican que valores superiores a 1-2 mg MDA/kg de pescado se asocian con sabor rancio y olor característico (Colla & Prentice–Hernández, 2003). Para evitar el deterioro es importante respetar el buen manejo higiénico sanitario de la materia prima, desde el momento de la captura, hasta el procesamiento de la muestra, haciendo énfasis en evitar la exposición a la luz, el calor y el oxígeno.

El proceso de hidrólisis enzimático se inicia con la formación de un complejo enzima-sustrato (proteína), seguido de la rotura del enlace amídico dando como resultado la separación de la cadena, luego se produce la separación del péptido restante de la enzima después de un ataque nucleofílico de una molécula de agua (Benítez et al., 2008). Conforme a esto, el aumento del contenido proteico después de la reacción puede atribuirse a la generación de péptidos producto de la hidrólisis, los cuales pasan a la fase acuosa que se separa de la grasa (Belén Camacho et al., 2007). El GH con la enzima Alcalase® 2.4L fue de 12.47% y con Purazyme AS 60L resultó 12.32%. Balti y colaboradores (2011), reportaron valores en el rango de 8 a 10 % de GH para hidrolizados de proteínas de sepia (*Sepia officinalis*) producido por Alcalase® 2.4L y proteasas de *Bacillus licheniformis* NH1. Del mismo modo, Bougategf y colaboradores (2008) investigaron la producción de hidrolizados de cabezas y vísceras de sardinela (*Sardinella aurita*) mediante tratamiento con Alcalase® 2.4L, quimotripsina y preparaciones de enzimas crudas de *Bacillus licheniformis* NH1 y *Aspergillus clavatus* ES1 logrando un GH en el rango de 4 a 10 % a los 60 min de reacción.

Además, en el presente trabajo la fase lipídica fue separada post centrifugado y congelación, por lo tanto, hay un descenso en el contenido graso como consecuencia de la acción enzimática y la posible interacción con el NaOH adicionado para ajustar el pH del medio, originando jabones que son apartados de la mezcla de reacción durante el centrifugado (Belén Camacho et al., 2007). Generalmente en la fase superior, se acumulan todas las fracciones insolubles removidas en la centrifugación. Además, la separación del contenido graso, previene la rancidez oxidativa de los hidrolizados (Kristinsson & Rasco, 2000).

Respecto del rendimiento de aceite, los resultados obtenidos son concordantes con los valores establecidos por Gbogouri y colaboradores (2006) para el aceite extraído de cabezas de salmón mediante el uso de una solución enzimática similar (Alcalase® 2.4L®, Neutrasa® Protamex®). Rubio-Rodríguez y colaboradores (2012) reportaron rendimientos cercanos al 100% trabajando con residuo de salmón y la enzima Alcalase® 2.4L. Asimismo, Głowacz-Rozynska y colaboradores (2016) lograron extraer el 70% del aceite, utilizando proteasas en cabezas de salmón. Sin embargo, el rendimiento con Purazyme AS 60L es inferior al obtenido en la extracción de aceite de hígado de raya utilizando las mismas condiciones de hidrólisis (Lamas & Massa, 2019), probablemente debido a que los hígados de especies cartilaginosas presentan mayor contenido graso que la materia prima utilizada en este estudio.

Tanto la densidad como el contenido de material volátil, arrojaron valores esperables para aceites crudos de este tipo. El color de los aceites es un factor determinante en la calidad. Por lo general, se expresa según el tono, que reconoce el color del aceite; el croma, que muestra qué tan cerca está el color de un tono puro y la luminosidad representa la comparación del color como claro u oscuro (Hasnul Hadi et al., 2021). Los aceites oscuros requieren un procesamiento de alto costo para lograr un producto claro y aceptable (Lamas & Massa, 2019). En general, en el proceso de refinado diversas sustancias indeseables como fosfolípidos, ceras, humedad residual, aldehídos, cetonas y pigmentos son fácilmente removidas (Lamas & Massa, 2017, 2019). En el presente trabajo, el color de ambos aceites crudos obtenidos fue amarillento, translúcido y brillante. El aceite obtenido con la enzima Purazyme AS 60L fue ligeramente más oscuro. Ambos aceites obtenidos arrojaron valores dentro de los estándares de calidad del pescado crudo aceites que indican valores máximos para la escala de Gardner de 14 (Bimbo, 1998).

Todas las muestras mostraron el mismo patrón de ácidos grasos, resultando una mayor proporción de la fracción de saturados (SFA) seguida de la fracción de poliinsaturados (PUFA) y monosaturados (MUFA). Sin embargo, para los aceites obtenidos por enzimas, la fracción de SFA no presentó diferencias significativas con los PUFA. Esto podría indicar que hay una variación en la composición porcentual de las distintas partes de los especímenes estudiados. Asimismo, la extracción de aceite de hígado de *Zearaja flavirostris* y *Atlantoraja castelnaui* utilizando las mismas enzimas mostró un perfil de ácidos grasos diferente respecto del extraído por Bligh & Dyer, destacándose los PUFA (Lamas & Massa, 2019). Probablemente esto es debido a que la extracción enzimática es una tecnología que utiliza condiciones suaves de temperatura sin el agregado de solventes químicos, lo que permite extraer los ácidos grasos con insaturaciones más fácilmente (Tabla 4).

TABLA 4.  
Perfil cualitativo de ácidos grasos de *Trachurus lathami*.

| ACIDO GRASO                  | B&D          | Alcalase® 2.4L | Purazyme AS 60L |
|------------------------------|--------------|----------------|-----------------|
| C14:0 mirístico              | 5.12         | 3.55           | 3.4             |
| C15:0 pentadecanoico         | .63          | .4             | .44             |
| C16:0 palmítico              | 21.5         | 18.72          | 19.2            |
| C17:0 heptadecanoico         | .22          | .25            | .33             |
| C18:0 esteárico              | 5.4          | 6.83           | 5.97            |
| C20:0 araquídico             | .41          | .18            | .22             |
| C22:0 behénico               | 5.41         | 2.11           | 2.54            |
| C23:0 tricosenoico           | .13          | .31            | .29             |
| C24:0 lignocérico            | .09          | .9             | .84             |
| <b>SFA</b>                   | <b>38.91</b> | <b>33.25</b>   | <b>33.23</b>    |
| C14:1 miristoleico           | .22          | .19            | .23             |
| C15:1 pentadecenoico         | .06          | .1             | .13             |
| C16:1 palmitoleico           | 4.5          | 5.6            | 5.7             |
| C17:1 heptadecenoico         | .16          | .1             | .09             |
| C18:1n9 oleico               | 9.92         | 14.79          | 14.13           |
| C18:1n7c+t vaccénico         | 1.65         | .44            | 3.35            |
| C18:2n6c+t linoleico         | 1.1          | 2.96           | 1.61            |
| C20:1n9 gonodóico            | 2.62         | 2.43           | 2.77            |
| C22:1n9 erucico              | .13          | .04            | .03             |
| C22:1n11 cetoleico           | .5           | .28            | .31             |
| <b>MUFA</b>                  | <b>20.86</b> | <b>26.93</b>   | <b>28.35</b>    |
| C18:3n6 $\gamma$ -linolenico | .08          | .98            | .77             |
| C18:3n3 $\alpha$ -linolénico | .66          | .98            | .69             |
| C18:4n3 estearidónico        | 1.2          | 1.49           | 1.51            |
| C20:2n6 eicosadienoico       | .18          | .19            | .21             |
| C20:3n6 eicosatrienoico      | .09          | 0.74           | .67             |
| C20:4n6 araquidónico         | .55          | 0.65           | .68             |
| C20:5n-3 eicosapentaenoico   | 5.67         | 6.86           | 6.78            |
| C22:2 docosadienoico         | .22          | .23            | .24             |
| C22:5n3 docosapentaenoico    | 1.51         | .07            | .09             |
| C2:6 n-3 docosahexaenoico    | 16.79        | 17.09          | 18.12           |
| <b>PUFA</b>                  | <b>27.5</b>  | <b>29.85</b>   | <b>30.34</b>    |
| <b>n-6</b>                   | <b>1.12</b>  | <b>2.79</b>    | <b>2.57</b>     |
| <b>n-3</b>                   | <b>26.38</b> | <b>27.06</b>   | <b>27.77</b>    |

Entre los SFA, todos los aceites mostraron predominancia del ácido palmítico, seguido del esteárico y mirístico. Esto resulta de interés, dado que los ácidos grasos palmítico y esteárico pueden ser utilizados como fuente de energía (Navarro-García et al., 2014). Dentro de los MUFA los ácidos grasos predominantes fueron el oleico y palmitoleico, lo que también constituye un hallazgo importante, ya que las dietas ricas en ácido

oleico se asocian a la reducción de riesgo en el desarrollo de diabetes tipo 2, según lo investigado por Kien y colaboradores (2013).

Los aceites obtenidos con ambas enzimas mostraron un contenido de PUFA proporcionalmente mayor a la materia prima de origen siendo el EPA (20: 5 n-3) y el DHA (22: 6 n-3) los principales componentes. Existe suficiente evidencia que demuestra que el EPA y el DHA tienen eficacia antiarterosclerótica y pueden prevenir y reducir enfermedades del sistema circulatorio (Lee et al., 2008), contribuir a la prevención de la enfermedad de Alzheimer (Gu et al., 2010) y la degeneración relacionada con la edad (Hodge et al., 2006). Además, el consumo de estos ácidos grasos por parte de mujeres embarazadas contribuye al correcto desarrollo y la salud del feto y del recién nacido (Noakes et al., 2012; Palmer et al., 2012). De esta manera, el aceite de surel parece ser una buena fuente de PUFA n-3 que son reconocidos por sus beneficios para la salud.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dra. Brenda Temperoni por su colaboración en la determinación de ácidos grasos.

## REFERENCIAS

- Adeoti, I. A., & Hawboldt, K. (2014). A review of lipid extraction from fish processing by-product for use as a biofuel. *Biomass and Bioenergy*, 63, 330-340. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.02.011>
- Adler-Nissen, J. (1986). *Enzymic hydrolysis of food proteins*. London: Elsevier Applied Science Publishers.
- American Oil Chemists' Society., & Firestone, D. (2009). Official methods and recommended practices of the AOCS. Urbana, Ill: Autor.
- Association of Official Analytical Chemists., & Helrich, K. (1990). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA: Autor
- Balti, R., Bougatef, A., El Hadj Ali, N., Ktari, N., Jellouli, K., Nedjar-Arroume, N., Dhulster, P., & Nasri, M. (2011). Comparative study on biochemical properties and Antioxidative activity of Cuttlefish (*Sepia officinalis*) protein hydrolysates produced by Alcalase and *Bacillus licheniformis* NH1 Proteases. *Journal of Amino Acids*, 2011, 1-11. <https://doi.org/10.4061/2011/107179>.
- Belén Camacho, D. R., Moreno Álvarez M. J., García, D., Medina, C., & Sidorovas, A. (2007). Characterization of a protein enzymatic hydrolysate obtained from the colored 'caribe' fish (*Pygocentrus caribabumboldt*, 1821). *Interciencia*, 32(3), 188-194.
- Benítez, R., Ibarz, A., & Pagan, J. (2008). Hidrolizados de proteína: procesos y aplicaciones. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 42 (2), 227 – 236.
- Bimbo, A. P. (1998). Directrices para caracterizar los aceites de pescado de calidad alimentaria. 9 (5). Hertfordshire, Reino Unido.
- Bligh, E. G., & Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37(8), 911-917.
- Bonilla-Méndez, J. R., & Hoyos-Concha J. L. (2018). Methods of extraction, refining and concentration of fish oil as a source of omega-3 fatty acids. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 19(3), 621-644.
- Bougatef, A., Nedjar-Arroume, N., Ravallec-Plé, R., Leroy, Y., Guillochon, D., Barkia, A., & Nasri, M. (2008). Angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory activities of sardinelle (*Sardinella aurita*) by-products protein hydrolysates obtained by treatment with microbial and visceral fish serine proteases. *Food Chemistry*, 111(2), 350-356.
- Código Alimentario Argentino. (1969). Ley 18,284 del 28 de julio de 1969 (Argentina) Capítulo VI. Alimentos cárneos y afines. Carnes de consumo frescas y envasadas. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/capitulo\\_vi\\_carneosactualiz\\_2019-2\\_.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/capitulo_vi_carneosactualiz_2019-2_.pdf)

- Comisión de las Comunidades Europeas. (2008, 17 de octubre) Decisión (CE) N° 149/95. Establecimiento de valores límites de nitrógeno básico volátil total NBVT de determinadas categorías de productos pesqueros y los métodos de análisis que deben utilizarse, 8 de Marzo de 1995. *Diario Oficial UE* N° 97. <https://op.europa.eu/o/opportal-service/download-handler?identifier=91dc1ed4-6450-4a3c-8cab45009644715c&format=pdf&language=es&productionSystem=cellar&part=>
- Comisión de las Comunidades Europeas (2008, 17 de octubre). Reglamento (CE) N° 1022/2008. Valores límite de nitrógeno básico volátil total (NBVT) de determinadas categorías de productos pesqueros, *Diario Oficial UE* N° 277. <https://www.boe.es/doue/2008/277/L00018-00020.pdf>
- Chow, C. K. (Ed.). (2007). *Fatty acids in foods and their health implications*. CRC press.
- Colla, L. M., & Prentice-Hernández, C. (2003). Congelamento e descongelamento—sua influencia sobre os alimentos vetor. *Revista de Ciências Exatas e Engenharias*, 13, 53-66.
- Foh, M. B., Wenshui, X., Amadou, I., & Jiang, Q. (2012). Influence of pH shift on functional properties of protein isolated of tilapia (*Oreochromis niloticus*) muscles and of soy protein isolate. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6), 2192-2200.
- Fournier, V., Destailats, F., Hug, B., Golay, P.A., Joffre, F., Juanéda, P., Sémon, E., Dionisi, F., Lambelet, P., Sébédio, J.L., & Berdeaux, O. (2007). Quantification of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acid geometrical isomers formed during fish oil deodorization by gas–liquid chromatography. *Journal of Chromatography. A*, 1154(1-2), 353-359. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2007.03.099>
- Gbogouri, G. A., Linder, M., Fanni, J., & Parmentier, M. (2006). Analysis of lipids extracted from salmon (*Salmo salar*) heads by commercial proteolytic enzymes. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 108(9), 766-775.
- Ghaly, A. E., Ramakrishnan, V. V., Brooks, M. S., Budge, S. M., & Dave, D. (2013). Fish Processing wastes as a potential source of proteins, amino acids and oils: a critical review. *Journal of Microbial & Biochemical Technology*, 5(4), 107-129.
- Głowacz-Rozynska, A., Tynek, M., Malinowska, E., Martysiak, D., Pawłowicz, R., & Kolodziejska, I. (2016). Comparison of oil yield and quality obtained by different extraction procedures from salmon (*Salmo salar*) processing byproducts. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 118(11), 1759-1767.
- Guerard, F. (2006). *Enzymatic methods for marine by-products recovery*. In F. Shahidi, Ed. *Maximising the value of marine by-products*. Woodhead Publishing.
- Gu, Y., Nieves, J. W., Stern, Y., Luchsinger, J. A., & Scarmeas, N. (2010). Food combination and Alzheimer disease risk: a protective diet. *Archives of Neurology*, 67(6), 699-706.
- Hasnul Hadi, M.H., Ker, P.J., Thiviyathan, V.A., Tang, S.G.H., Leong, Y.S., Lee, H.J., Hannan, M.A., Jamaludin, M.Z., Mahdi, M.A. (2021). The Amber-Colored Liquid: A Review on the Color Standards, Methods of Detection, Issues and Recommendations. *Sensors*, 21, 6866.
- Hodge, W. G., Schachter, H. M., Barnes, D., Pan, Y., Lowcock, E. C., Zhang, L., Sampson, M., Morrison, A., Tran, K., Miguelez, M., & Lewin, G. (2006). Efficacy of omega-3 fatty acids in preventing age related macular degeneration: a systematic review. *Ophthalmology*, 113(7), 1165–1172.
- International organization for standardization. (2011). 12966-2:2017. Animal and vegetable fats and oils — Gas chromatography of fatty acid methyl esters — Part 2: Preparation of methyl esters of fatty acids. <https://www.iso.org/standard/72142.html>
- Kechaou, E. S., Dumay, J., Donnay-Moreno, C., Jaouen, P., Gouygou, J. P., Bergé, J. P., & Amar, R. B. (2009). Enzymatic hydrolysis of cuttlefish (*Sepia officinalis*) and sardine (*Sardina pilchardus*) viscera using commercial proteases: effects on lipid distribution and amino acid composition. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 107(2), 158-64.
- Kien, C. L., Bunn, J. Y., Poynter, M. E., Stevens, R., Bain, J., Ikayeva, O., Fukagawa, N. K., Champagne, C. M., Crain, K. I., Koves, T. R., Muoio, D. M. (2013). A lipidomics analysis of the relationship between dietary fatty acid composition and insulin sensitivity in young adults. *Diabetes*, 62(4), 1054-1063.
- Kristinsson, H. G., & Rasco, B. A. (2000). Fish protein hydrolysates: production, biochemical, and functional properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40, 43-81.

- Lamas, D., & Massa, A. (2017). Enzymatic degumming of ray liver oil using phospholipase a1: efficiency, yield and effect on physicochemical parameters. *International Journal of Bioorganic Chemistry*, 2(3), 87-93.
- Lamas, D., & Massa, A. (2019). Ray liver oils obtained by different methodologies: characterization and refining. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 28(3), 1-15.
- Laroque, D., Chabeaud, A., & Guérard, F. (2008). Antioxidant capacity of marine protein hydrolysates. En J Bergé J. P. (Ed). *Added value to fisheries waste* (147-161pp.) Transworld Research Network Publisher.
- Linder, M., Fanni, J., Parmentier, M. (2005). Proteolytic extraction of salmon oil and PUFA concentration by lipases. *Marine Biotechnology*, 7(1), 70-76.
- Lee, J. H., O'Keefe, J. H., Lavie, C. J., Marchioli R., & Harris, W. S. (2008). Omega-3 fatty acids for cardioprotection. *Mayo Clinic Proceedings*, 83, 324-332.
- Massa, A. E., Manca, E. A., Mansilla, A. Y., Mendieta, J. R., & Casalongué, C. A. (2016). Hidrolizados proteicos de pescado a partir de residuos de la industria pesquera con potencialidad en Biotecnología. En: *Vinculación Tecnológica IV* (28-32pp.). De la Universidad al medio socio-productivo.
- Mbatia, B., Adlercreutz, D., Adlercreutz, P., Mahadhy, A., Mulaa, F., & Mattiasson, B. (2010). Enzymatic oil extraction and positional analysis of Omega 3 fatty acids in Nile perch and salmon heads. *Process Biochemistry*, 45(5), 815-819.
- Márquez Figueroa, Y. V., Cabello, A. M., Villalobos, L. B., Guevara, G., Figuera García, B.E., Vallenilla González, O.M. (2006). Cambios físicos-químicos y microbiológicos observados durante el proceso tecnológico de la conserva de atún. *Zootecnia Tropical*, 24(1), 17-29.
- Navarro-García, G., González-Félix, M. L., Márquez-Farías, F., Bringas-Alvarado, L., Pérez-Velazquez, M., Montoya-Laos, J. M., & Moreno-Silva, B. (2014). Lipid content and fatty acid composition of the liver from the rajiforms *Urotrygon chilensis*, *Urobatis halleri*, *Rhinobatos glaucostigma*, *Rhinoptera steindachneri* and *Dasyatis dipeteura* captured in Sinaloa, México. *International Food Research Journal*, 21(1), 229-235.
- Noakes, P. S., Vlachava, M., Kremmyda, L. S., Diaper, N. D., Miles, E. A., Erlewyn-Lajeunesse, M., Williams, A. P., Godfrey, K. M., & Calder, P. C. (2012). Increased intake of oily fish in pregnancy: effects on neonatal immune responses and on clinical outcomes in infants at 6 months. *American Journal of Clinical Nutrition*, 95(2), 395-404.
- Palmer, D. J., Sullivan, T., Gold, M. S., Prescott, S. L., Heddle, R., Gibson, R. A., & Makrides, M. (2012). Effect of n-3 long chain polyunsaturated fatty acid supplementation in pregnancy on infants' allergies in first year of life: randomised controlled trial. *British Medical Journal*, 344, 184.
- Rubio-Rodríguez, N., Diego, S. M., Beltrán, S., Jaime, I., Sanz, M. T., & Rovira, J. (2012). Supercritical fluid extraction of fish oil from fish by-products: a comparison with other extraction methods. *Journal of Food Engineering*, 109(2), 238-248.
- Tironi, V. 2005. *Rancidez oxidativa en salmón de mar. Interacción lípidos oxidados- proteínas.* (Tesis doctoral). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- Valenzuela, A., Sanhueza, J., & De la Barra, F. (2012). El aceite de pescado: ayer un desecho industrial, hoy un producto de alto valor nutricional. *Revista Chilena de Nutrición*, 39 (2), 201-209.
- Zhong, Y., Madhujith, T., Mahfouz, N., & Shahidi, F. (2007). Compositional characteristics of muscle and visceral oil from steelhead trout and their oxidative stability. *Food Chemistry*, 104, 602-608.