

Concentrado de ácidos grasos omega 3 EPA y DHA a partir de hibernación de aceite crudo de anchoveta (*Engraulis ringens*)

Pascual Alejandro Martínez Albán
<https://orcid.org/0000-0001-7884-8042>
pmartinez@unfv.edu.pe
Universidad Nacional Federico Villarreal
Unidad de Investigación, Innovación y
Emprendimiento
Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias
Alimentarias y Acuicultura
Lima, Perú

José Alberto Huiman Sandoval
<https://orcid.org/0000-0002-9208-3637>
jhuiman@unfv.edu.pe
Universidad Nacional Federico Villarreal
Unidad de Investigación, Innovación y
Emprendimiento
Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias
Alimentarias y Acuicultura
Lima, Perú

Fanny Catherine Betalleluz Nieto
<https://orcid.org/0000-0003-0522-7178>
fbetalleluz@unfv.edu.pe
Universidad Nacional Federico Villarreal
Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias
Alimentarias y Acuicultura
Lima, Perú

Rodolfo Martín Cornejo Urbina*
<https://orcid.org/0000-0001-9325-6512>
recpesq@gmail.com
Universidad Nacional del Callao
Facultad de Ingeniería Pesquera y Alimentos
Instituto del Mar del Perú
Callao, Perú

*Autor de correspondencia: recpesq@gmail.com

Recibido: (19/04/2026), Aceptado: (09/07/2026)

Resumen. El presente estudio evaluó la obtención de un concentrado de ácidos grasos omega-3 EPA y DHA mediante hibernación (*winterization*) de aceite crudo de anchoveta (*Engraulis ringens*). Se utilizaron dos muestras procedentes de plantas procesadoras de Chimbote y Callao, Perú, sometidas a 22, 10, 5, 0 y -5°C durante 96 h. La acidez libre y el índice de yodo se determinaron mediante normas técnicas peruanas y el perfil de ácidos grasos mediante cromatografía de gases. Las muestras tratadas a 0 y -5°C cristalizaron completamente y fueron descartadas. El tratamiento a 5°C produjo el mayor enriquecimiento de EPA y DHA, alcanzando contenidos conjuntos de 39,99 % y 40,19 % para las muestras de Chimbote y Callao, respectivamente. Además, la acidez libre permaneció dentro de los límites normativos y el índice de yodo aumentó, confirmando que la hibernación constituye una alternativa eficiente para concentrar omega-3 preservando la calidad del aceite.

Palabras clave: aceite de pescado, omega-3, EPA, DHA, hibernación, *Engraulis ringens*.

Concentrate of Omega-3 Fatty Acids EPA and DHA Obtained by Winterization of Crude Anchovy Oil (*Engraulis ringens*)

Abstract. This study evaluated the production of a concentrate of omega-3 fatty acids EPA and DHA through winterization of crude anchovy oil (*Engraulis ringens*). Two samples from processing plants in Chimbote and Callao, Peru, were used and subjected to 22, 10, 5, 0, and -5°C for 96 h. Free acidity and iodine value were determined according to Peruvian technical standards, and the fatty acid profile was analyzed by gas chromatography. The samples treated at 0 and -5°C crystallized completely and were discarded. The treatment at 5°C produced the highest enrichment of EPA and DHA, reaching combined contents of 39.99 % and 40.19 % for the Chimbote and Callao samples, respectively. In addition, free acidity remained within regulatory limits and the iodine value increased, confirming that winterization constitutes an efficient alternative for concentrating omega-3 while preserving oil quality.

Keywords: fish oil, omega-3, EPA, DHA, winterization, *Engraulis ringens*.

I. INTRODUCCIÓN

Los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga omega-3, particularmente el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA), constituyen compuestos bioactivos de elevado interés para las industrias alimentaria, nutracéutica y farmacéutica debido a sus reconocidos beneficios sobre la salud cardiovascular, neurológica e inmunológica. En consecuencia, durante los últimos años se ha incrementado el interés por desarrollar tecnologías que permitan obtener concentrados de estos ácidos grasos con mayor pureza, estabilidad y rendimiento, preservando simultáneamente sus propiedades fisicoquímicas y nutricionales [1], [2], [3], [4].

El aceite de pescado continúa siendo una de las fuentes naturales más importantes de EPA y DHA, especialmente aquel obtenido de especies pelágicas como la anchoveta (*Engraulis ringens*), recurso de gran relevancia para la industria pesquera peruana. Sin embargo, el aceite crudo contiene mezclas complejas de ácidos grasos saturados e insaturados, fosfolípidos, esteroides, pigmentos y otros compuestos que limitan su aprovechamiento directo para aplicaciones de alto valor agregado. Por esta razón, se han desarrollado diversos procesos de extracción, refinación y concentración, entre ellos la extracción con fluidos supercríticos, métodos enzimáticos, separación mediante solventes, destilación molecular y procesos de fraccionamiento térmico, cada uno con ventajas y limitaciones respecto al rendimiento, la estabilidad oxidativa y la conservación de los ácidos grasos poliinsaturados [5], [6], [7], [8], [9].

Entre estas tecnologías, la hibernación o *winterization* representa una alternativa eficiente para incrementar la concentración de EPA y DHA mediante la separación selectiva de los ácidos grasos saturados a bajas temperaturas, aprovechando las diferencias en sus puntos de fusión. Estudios recientes han demostrado que este proceso no solo favorece el enriquecimiento de las fracciones oleína y superoleína en EPA y DHA, sino que también mejora indicadores de calidad como la estabilidad oxidativa y la composición lipídica del aceite, consolidándose como una estrategia tecnológica de creciente interés para la obtención de ingredientes funcionales de alto valor agregado [10], [11]. Asimismo, revisiones recientes destacan que la optimización de las condiciones de *winterization* constituye una de las principales líneas de investigación para incrementar la eficiencia del procesamiento de aceites marinos destinados al consumo humano [12], [13].

El Perú figura entre los principales productores mundiales de harina y aceite de pescado, siendo la anchoveta (*Engraulis ringens*) la materia prima predominante para esta industria. No obstante, aún existe la necesidad de optimizar procesos sencillos, económicamente viables y de baja complejidad tecnológica que permitan incrementar la concentración de EPA y DHA directamente a partir del aceite crudo, manteniendo su calidad fisicoquímica. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo obtener un concentrado de ácidos grasos omega-3 EPA y DHA mediante el proceso de hibernación aplicado al aceite crudo de anchoveta (*Engraulis ringens*), evaluando el efecto de diferentes temperaturas sobre la composición de ácidos grasos y los principales indicadores de calidad del aceite [14], [15], [16].

II. MARCO TEÓRICO

A. Ácidos grasos poliinsaturados omega-3 en aceites de pescado

Los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga omega-3, principalmente el ácido eicosapentaenoico (EPA; C20:5n-3) y el ácido docosahexaenoico (DHA; C22:6n-3), constituyen los compuestos bioactivos más importantes presentes en los aceites de origen marino. Estas moléculas participan en numerosos procesos fisiológicos relacionados con la salud cardiovascular, el desarrollo neurológico, la modulación de la respuesta inflamatoria y el funcionamiento del sistema inmunológico, razón por la cual su demanda ha incrementado significativamente en las industrias alimentaria, nutracéutica y farmacéutica [1], [2].

La principal fuente comercial de estos ácidos grasos continúa siendo el aceite de pescado obtenido de especies pelágicas como anchoveta, sardina, caballa y salmón. No obstante, el aceite crudo contiene una mezcla compleja de ácidos grasos saturados e insaturados, fosfolípidos, pigmentos, esteroides y otros compuestos menores que afectan su estabilidad y limitan su utilización directa en aplicaciones de alto valor agregado. Por ello, durante las últimas décadas se han desarrollado diferentes tecnologías orientadas al enriquecimiento selectivo de EPA y DHA, procurando conservar simultáneamente la calidad nutricional y reducir los procesos de oxidación lipídica [3], [4], [5].

Diversas investigaciones coinciden en que la eficiencia de los procesos de concentración depende tanto del método de extracción como de las etapas posteriores de purificación y fraccionamiento. En este contexto, la selección de condiciones operativas adecuadas resulta determinante para preservar la integridad estructural de los ácidos grasos poliinsaturados y maximizar su recuperación durante el procesamiento industrial [6], [7].

B. Tecnologías de purificación y concentración de EPA y DHA

La obtención de concentrados de omega-3 ha evolucionado desde procedimientos convencionales de extracción hasta tecnologías de mayor selectividad, entre las que destacan la extracción con fluidos supercríticos, la hidrólisis enzimática, la cromatografía, la destilación molecular, la cristalización con solventes y los procesos de fraccionamiento térmico. Cada una de estas técnicas presenta ventajas específicas en términos de rendimiento, costos de operación, estabilidad oxidativa y grado de enriquecimiento de EPA y DHA [4], [8], [9].

Entre las tecnologías actualmente empleadas, el fraccionamiento térmico mediante *winterization* representa una alternativa particularmente atractiva debido a su relativa simplicidad operacional, bajo consumo energético y facilidad de escalamiento industrial. Este proceso aprovecha las diferencias existentes entre los puntos de fusión de los ácidos grasos saturados e insaturados, promoviendo la cristalización selectiva de los primeros y permitiendo que las fracciones líquidas presenten una mayor concentración de ácidos grasos poliinsaturados [10].

Estudios recientes han demostrado que la aplicación de *winterization* produce fracciones oleína y superoleína con mayores contenidos de EPA y DHA, además de mejorar indicadores tecnológicos asociados con la estabilidad oxidativa, el contenido de vitaminas liposolubles y la composición de esteroides. Estos resultados evidencian que la optimización de las condiciones de enfriamiento constituye uno de los principales factores que determinan la eficiencia del proceso de concentración [11], [12].

C. Fundamentos del proceso de hibernación (*winterization*)

La hibernación, conocida internacionalmente como *winterization*, corresponde a un proceso de separación física basado en la cristalización diferencial de los componentes lipídicos cuando el aceite es sometido a bajas temperaturas durante un periodo determinado. Bajo estas condiciones, los triglicéridos ricos en ácidos grasos saturados cristalizan primero, mientras que aquellos enriquecidos con EPA y DHA permanecen mayoritariamente en fase líquida, facilitando su separación mediante filtración o decantación [10], [13].

La eficiencia del proceso depende de múltiples variables, entre ellas la temperatura de tratamiento, el tiempo de permanencia, la velocidad de enfriamiento y las características fisicoquímicas propias del aceite utilizado. Temperaturas excesivamente bajas pueden favorecer la cristalización completa del sistema, reduciendo el rendimiento de la fracción líquida, mientras que temperaturas moderadas permiten obtener un equilibrio adecuado entre recuperación y enriquecimiento de los ácidos grasos poliinsaturados [11], [14].

Investigaciones recientes sobre aceites de pescado provenientes de diferentes especies marinas han confirmado que la incorporación de la etapa de *winterization* dentro de los procesos de refinación incrementa la calidad final del aceite, mejora su estabilidad durante el almacenamiento y favorece el enriquecimiento de EPA y DHA sin recurrir a tecnologías altamente complejas o de elevado costo. Estas ventajas posicionan a la hibernación como una estrategia tecnológica viable para la valorización industrial de aceites marinos destinados al desarrollo de alimentos funcionales e ingredientes nutraceuticos [12], [15], [16].

III. METODOLOGÍA

A. Diseño experimental

La investigación se desarrolló bajo un diseño experimental comparativo de laboratorio orientado a evaluar el efecto de la temperatura de hibernación (*winterization*) sobre la concentración de los ácidos grasos poliinsaturados omega-3 EPA y DHA presentes en aceite crudo de anchoveta (*Engraulis ringens*). Se emplearon dos muestras independientes de aceite crudo procedentes de diferentes plantas

procesadoras del litoral peruano, sometidas a cuatro tratamientos térmicos: 22, 10, 5, 0 y -5°C . Debido a la cristalización total observada en los tratamientos de 0 y -5°C , únicamente las muestras mantenidas a temperatura ambiente, 10°C y 5°C fueron consideradas para el análisis comparativo.

B. *Materia prima y procedencia de las muestras*

Se utilizaron dos muestras independientes de aceite crudo de anchoveta (*Engraulis ringens*). La primera fue obtenida en una planta refinadora localizada en el puerto de Chimbote, mientras que la segunda procedió de una planta industrial de producción de harina y aceite de pescado ubicada en la playa Los Ferroles, Provincia Constitucional del Callao, Perú. Las muestras fueron transportadas bajo condiciones que evitaron modificaciones fisicoquímicas significativas y posteriormente almacenadas hasta el inicio de los tratamientos experimentales.

C. *Proceso de hibernación (winterization)*

El proceso de hibernación consistió en someter las muestras de aceite crudo a temperaturas controladas de 10, 5, 0 y -5°C durante un periodo continuo de 96 horas. Finalizado el tiempo de almacenamiento, se observó el comportamiento físico de cada tratamiento. Las muestras conservadas a 10°C y 5°C presentaron una separación espontánea entre las fracciones sólida y líquida, permitiendo la recuperación de la fase líquida para los análisis posteriores. En contraste, las muestras almacenadas a 0°C y -5°C experimentaron cristalización completa, imposibilitando la separación adecuada de la fase líquida y, por tanto, fueron excluidas del análisis experimental. Como condición de referencia se utilizó aceite crudo mantenido a temperatura ambiente, 22°C , permitiendo establecer comparaciones respecto al efecto del proceso de hibernación.

D. *Determinación de las propiedades fisicoquímicas*

La acidez libre fue determinada en las muestras control y en las fracciones obtenidas después de la hibernación siguiendo la metodología establecida en la Norma Técnica Peruana NTP 209.001, revisión 2016. Los resultados fueron expresados como porcentaje de ácido oleico, considerando como valor máximo aceptable el establecido por la NTP 312.002 del Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

El índice de yodo fue determinado mediante el método de Wijs conforme a la Norma NTP-ISO 3961:2023. Este parámetro permitió estimar el grado de insaturación de los aceites a partir de la cantidad de yodo consumida por los dobles enlaces presentes en los ácidos grasos, expresándose en gramos de yodo absorbidos por cada 100 g de aceite.

E. *Determinación del perfil de ácidos grasos*

La composición de ácidos grasos fue determinada mediante cromatografía de gases en el laboratorio acreditado Certificaciones del Perú S.A. (CERPER). Se cuantificaron individualmente los principales ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados presentes en las fracciones líquidas obtenidas a temperatura ambiente, 10°C y 5°C . Especial atención se otorgó a la cuantificación del ácido eicosapentaenoico (EPA) y del ácido docosahexaenoico (DHA), debido a su relevancia nutricional e industrial. Los resultados fueron expresados como gramos de ácido graso por cada 100 g de materia grasa.

F. *Tratamiento y análisis de los datos*

Los resultados obtenidos fueron organizados de acuerdo con la procedencia de la muestra y la temperatura de hibernación aplicada. Posteriormente se efectuó un análisis descriptivo de las propiedades fisicoquímicas y del perfil de ácidos grasos, comparando las variaciones observadas entre tratamientos para identificar la condición térmica que favoreció la mayor concentración de EPA y DHA. La interpretación de los resultados consideró conjuntamente la evolución del índice de acidez, el índice de yodo y la composición porcentual de los ácidos grasos, permitiendo establecer la influencia del proceso de hibernación sobre la calidad y el enriquecimiento del aceite de anchoveta.

IV. RESULTADOS

A. Comportamiento del aceite durante el proceso de hibernación

El comportamiento físico de las muestras evidenció una marcada influencia de la temperatura sobre el proceso de separación de fases. Después de 96 horas de almacenamiento, las muestras sometidas a 10 °C y 5 °C presentaron una diferenciación claramente observable entre las fracciones sólida y líquida, permitiendo recuperar la fase líquida para su caracterización fisicoquímica. En contraste, los tratamientos aplicados a 0 °C y –5 °C produjeron una cristalización prácticamente completa del aceite, imposibilitando la separación de la fracción líquida y descartándose del análisis posterior.

Este comportamiento confirma que temperaturas moderadamente bajas favorecen el fraccionamiento selectivo del aceite, mientras que condiciones excesivamente frías provocan la solidificación del sistema lipídico y reducen la viabilidad del proceso de concentración de ácidos grasos poliinsaturados.

B. Variación de la acidez libre e índice de yodo

La acidez libre permaneció por debajo del límite máximo recomendado para ambas muestras y en todas las condiciones evaluadas, indicando que el proceso de hibernación no produjo un deterioro significativo del aceite. Aunque las muestras procedentes del Callao presentaron valores ligeramente superiores respecto a las obtenidas en Chimbote, las diferencias observadas fueron pequeñas y no modificaron la calidad global del producto.

Tabla 1. Acidez libre en aceite crudo de pescado a temperatura ambiente e hibernado a 10 °C y 5 °C.

Acidez libre	Muestra 1	Muestra 2
Fracción sólida	2,57–2,70	2,64–2,77
Fracción líquida	2,69–2,83	2,82–2,91
Fracción muestra total	2,60–2,75	2,80–2,86

Por otra parte, el índice de yodo mostró una tendencia creciente conforme disminuyó la temperatura de hibernación. En ambas muestras se registraron los mayores valores a 5 °C, lo que evidencia un incremento del grado de insaturación de la fracción líquida obtenida después del fraccionamiento térmico.

Tabla 2. Índice de yodo en la fracción líquida del aceite crudo de pescado a temperatura ambiente e hibernado a 10 °C y 5 °C.

Temperatura	Muestra 1 (g yodo/100 g aceite)	Muestra 2 (g yodo/100 g aceite)
22 °C	181–190	190–204
10 °C	195–205	210–219
5 °C	215–223	220–234

C. Modificación del perfil de ácidos grasos

El proceso de hibernación produjo modificaciones importantes en la composición lipídica del aceite. En términos generales, la disminución de la temperatura favoreció la reducción de la fracción de ácidos grasos saturados y el incremento relativo de los ácidos grasos poliinsaturados. Los resultados obtenidos muestran que el comportamiento de EPA y DHA dependió tanto de la temperatura como del origen de la muestra. En el aceite procedente de Chimbote se observaron mayores concentraciones de EPA, mientras que el aceite obtenido en el Callao presentó contenidos superiores de DHA en prácticamente todas las condiciones evaluadas. La composición inicial del aceite permitió establecer un punto de referencia para evaluar posteriormente el efecto del proceso de hibernación sobre el enriquecimiento de ambos ácidos grasos.

Tabla 3. Valores de ácidos grasos en aceite crudo de pescado a temperatura ambiente.

Ácido graso	Muestra 1 (g/100 g materia grasa)	Muestra 2 (g/100 g materia grasa)
Láurico (C12:0)	0,250	0,230
Mirístico (C14:0)	10,53	8,02
Miristoleico (C14:1)	<0,01	<0,01
Palmitico (C16:0)	21,08	21,73
Palmitoleico (C16:1)	10,44	6,50
Esteárico (C18:0)	4,28	5,10
Oleico (C18:1)	8,530	6,780
Linoleico (C18:2)	1,370	1,310
Linolénico (C18:3)	0,740	1,110
Araquídico (C20:0)	0,200	0,210
Eicosaenoico (C20:1)	0,660	0,970
Araquidónico (C20:4)	1,690	1,730
Eicosapentaenoico (EPA) (C20:5)	26,350	19,430
Behénico (C22:0)	<0,02	<0,02
Erúcido (C22:1)	<0,01	<0,01
Docosahexaenoico (DHA) (C22:6)	11,170	23,220
Ácidos grasos poliinsaturados	41,96	47,27
Ácidos grasos saturados	37,75	36,66
EPA + DHA	37,52	42,65

D. Influencia de la temperatura sobre la concentración de EPA y DHA

Los resultados obtenidos demostraron que la temperatura de hibernación constituye el principal factor que condiciona el enriquecimiento de los ácidos grasos poliinsaturados. A 10 °C se observó una disminución del contenido de EPA respecto al aceite original en la muestra procedente de Chimbote, mientras que la muestra del Callao mantuvo una mayor proporción de DHA. Sin embargo, el tratamiento a 5 °C produjo el mejor desempeño global del proceso, registrándose las mayores concentraciones de EPA + DHA y el mayor contenido de ácidos grasos poliinsaturados en ambas muestras. En la muestra 1 se alcanzó un contenido conjunto de EPA + DHA de 39,99 %, mientras que en la muestra 2 se obtuvo 40,19 %, confirmando que el proceso de hibernación favorece el enriquecimiento de estos compuestos bioactivos cuando se emplean temperaturas moderadamente bajas.

Con el propósito de analizar el efecto global de la temperatura de hibernación sobre el enriquecimiento de los ácidos grasos omega-3, se comparó el contenido conjunto de EPA y DHA obtenido en las diferentes condiciones experimentales para ambas muestras de aceite de anchoveta. La Figura 1 resume la evolución de este indicador en función de la temperatura aplicada durante el proceso de hibernación.

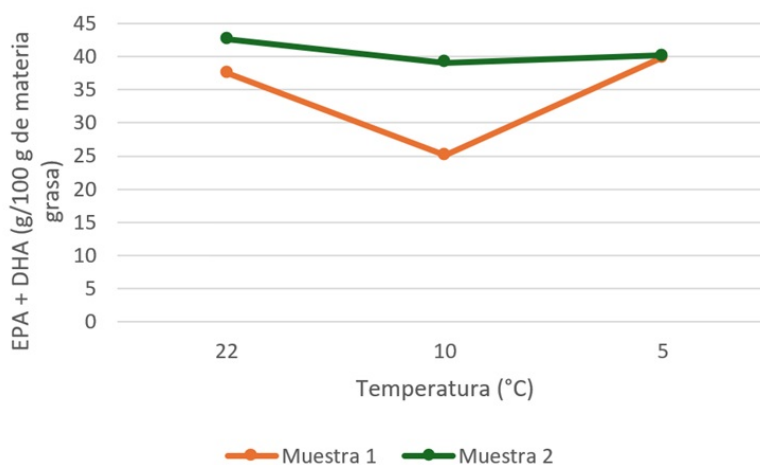


Fig. 1. Evolución de EPA + DHA con la temperatura.

La tendencia observada evidencia que el tratamiento a 5 °C favoreció el mayor enriquecimiento de EPA + DHA en ambas muestras. En contraste, la hibernación a 10 °C produjo una reducción del contenido de estos compuestos, especialmente en la muestra procedente de Chimbote, lo que sugiere que pequeñas variaciones en la temperatura modifican significativamente la eficiencia del fraccionamiento lipídico.

Con el fin de identificar la contribución individual de los principales ácidos grasos omega-3 al proceso de enriquecimiento, se analizaron por separado los contenidos de EPA, DHA y la concentración conjunta de EPA + DHA en las fracciones líquidas obtenidas después del tratamiento de hibernación a 10 °C. La Figura 2 presenta la comparación entre ambas muestras bajo esta condición experimental.

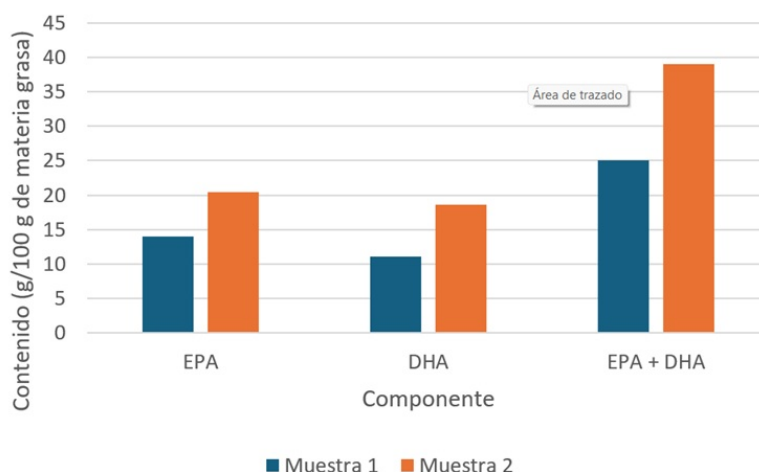


Fig. 2. Perfil de ácidos grasos de las fracciones líquidas obtenidas mediante hibernación a 10 °C.

A 10 °C se observó un comportamiento diferencial entre las muestras analizadas. La muestra procedente del Callao presentó mayores concentraciones de EPA, DHA y del contenido conjunto de EPA + DHA respecto a la muestra obtenida en Chimbote, indicando una mayor eficiencia del proceso de concentración bajo esta condición para dicha materia prima.

Considerando que el tratamiento a 5 °C produjo el mejor desempeño global del proceso, se evaluó de manera específica el comportamiento de los ácidos grasos EPA y DHA bajo esta condición de hibernación. La Figura 3 muestra la comparación de ambos compuestos y de su contenido combinado en las dos muestras de aceite evaluadas.

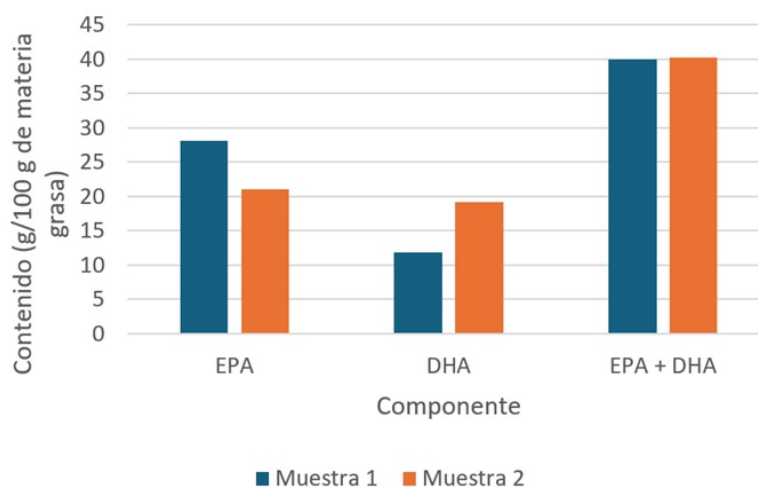


Fig. 3. Comparación de EPA, DHA y EPA + DHA a 5 °C.

Los resultados confirman que la hibernación a 5 °C favoreció el mayor enriquecimiento de los ácidos grasos omega-3. La muestra 1 presentó la concentración más elevada de EPA, mientras que la muestra 2 mantuvo el mayor contenido de DHA; sin embargo, el contenido total de EPA + DHA fue muy similar en ambas muestras, alcanzando valores cercanos al 40 %, lo que evidencia la elevada eficiencia del proceso de hibernación bajo esta temperatura.

E. *Discusión de resultados*

Los resultados obtenidos evidenciaron que la temperatura de hibernación constituye un factor determinante en la eficiencia del proceso de concentración de los ácidos grasos poliinsaturados presentes en el aceite de anchoveta. En particular, el tratamiento a 5 °C permitió obtener las mayores concentraciones conjuntas de EPA y DHA en ambas muestras, mientras que temperaturas inferiores, 0 °C y -5 °C, ocasionaron la cristalización completa del aceite, impidiendo la recuperación de la fracción líquida. Este comportamiento confirma que la eficiencia del proceso depende del equilibrio entre la cristalización selectiva de los triglicéridos ricos en ácidos grasos saturados y la permanencia de los ácidos grasos poliinsaturados en fase líquida, condición ampliamente descrita para los procesos de *winterization* aplicados a aceites marinos [10], [11].

Los resultados concuerdan con los reportados por Khaliq et al. [10], quienes demostraron que la aplicación de *winterization* en aceite de pescado permitió obtener fracciones oleína y superoleína con mayores concentraciones de EPA y DHA respecto al aceite original, además de mejorar parámetros asociados con la estabilidad oxidativa y la calidad lipídica. De manera similar, en el presente estudio la separación térmica favoreció el enriquecimiento de la fracción líquida, alcanzando contenidos cercanos al 40 % de EPA + DHA después del tratamiento a 5 °C. La semejanza entre ambos trabajos confirma que el fraccionamiento por enfriamiento continúa siendo una estrategia eficiente para incrementar el valor nutricional y comercial de los aceites marinos sin recurrir a procesos tecnológicos de elevada complejidad.

Asimismo, Suseno et al. [11] informaron que la incorporación de la etapa de *winterization* dentro del proceso de purificación del aceite de pescado mejoró la calidad fisicoquímica del producto final, reduciendo compuestos indeseables y favoreciendo la concentración relativa de ácidos grasos poliinsaturados. Estos resultados son consistentes con los obtenidos en esta investigación, donde la acidez libre permaneció dentro de los límites establecidos por la normativa peruana y el índice de yodo aumentó después del proceso de hibernación, indicando un incremento relativo del grado de insaturación de la fracción líquida recuperada.

La reducción observada en el contenido de EPA + DHA a 10 °C, particularmente en la muestra procedente de Chimbote, pone de manifiesto que pequeñas variaciones en la temperatura pueden modificar significativamente el equilibrio de cristalización del sistema lipídico. Desde el punto de vista fisicoquímico, la velocidad de nucleación y crecimiento cristalino determina qué fracciones permanecen en estado líquido y cuáles son retenidas en la fase sólida. Cuando las condiciones de enfriamiento no favorecen una separación suficientemente selectiva, parte de los triglicéridos que contienen EPA y DHA pueden quedar atrapados dentro de la matriz cristalina, reduciendo la eficiencia del enriquecimiento. Este comportamiento también ha sido descrito en investigaciones sobre fraccionamiento térmico de aceites marinos y vegetales, donde la optimización de la temperatura representa uno de los principales factores para maximizar el rendimiento del proceso [4], [10], [12].

Desde una perspectiva tecnológica, los resultados obtenidos presentan implicaciones relevantes para la industria pesquera y nutracéutica. A diferencia de tecnologías como la destilación molecular, la cromatografía o los procesos enzimáticos, la hibernación constituye una alternativa de menor complejidad operacional, menor consumo energético y mayor facilidad de implementación a escala industrial. Diversas revisiones recientes coinciden en que los procesos de fraccionamiento térmico continúan siendo una de las estrategias más prometedoras para la obtención de concentrados de omega-3 debido a su viabilidad técnica y económica, especialmente cuando se busca preservar la estabilidad oxidativa y minimizar el deterioro de los ácidos grasos poliinsaturados [2], [5], [13].

Finalmente, aunque el estudio demuestra el potencial del proceso de hibernación para enriquecer el contenido de EPA y DHA en aceite crudo de anchoveta, los resultados corresponden únicamente a dos muestras procedentes de plantas procesadoras específicas y a un conjunto limitado de temperaturas experimentales. Investigaciones futuras podrían incorporar un mayor número de muestras, diferentes velocidades de enfriamiento, tiempos de hibernación y técnicas instrumentales complementarias que

permitan optimizar el proceso y establecer modelos predictivos aplicables a escala industrial [17], [18], [19], [20].

CONCLUSIONES

El proceso de hibernación (*winterization*) demostró ser una alternativa tecnológica eficaz para incrementar la concentración de los ácidos grasos poliinsaturados omega-3 presentes en el aceite crudo de anchoveta (*Engraulis ringens*). Entre las condiciones evaluadas, la temperatura de 5 °C produjo el mayor enriquecimiento de EPA y DHA en ambas muestras, alcanzando contenidos conjuntos cercanos al 40 %, lo que confirma la influencia determinante de la temperatura sobre la eficiencia del fraccionamiento lipídico.

La aplicación del proceso de hibernación permitió conservar la calidad fisicoquímica del aceite, manteniendo los valores de acidez libre dentro de los límites establecidos por la normativa vigente y evidenciando un incremento del índice de yodo en las fracciones líquidas obtenidas. Estos resultados indican que el enriquecimiento de EPA y DHA puede alcanzarse sin comprometer los principales indicadores de calidad del producto.

La cristalización completa observada a 0 °C y –5 °C evidenció que temperaturas excesivamente bajas limitan la recuperación de la fracción líquida, reduciendo la viabilidad operativa del proceso. En consecuencia, el control de la temperatura constituye un factor crítico para optimizar la separación selectiva de los triglicéridos y maximizar el aprovechamiento industrial del aceite de pescado.

Los resultados obtenidos respaldan el potencial de la hibernación como una tecnología sencilla, de bajo costo operativo y con posibilidades de escalamiento industrial para la obtención de aceites de pescado enriquecidos en EPA y DHA. Futuras investigaciones deberán evaluar un mayor número de condiciones experimentales, diferentes especies de interés comercial y parámetros adicionales del proceso con el propósito de optimizar su aplicación en la industria de alimentos funcionales y nutraceuticos.

REFERENCIAS

- [1] D. F. Hamzah, Satriana, A. Sutriana, and S. H. Anwar, "Fish oil as a source of omega-3 fatty acids: A review," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1356, no. 1, p. 012023, 2024.
- [2] M. Rodrigues, A. Rosa, A. Almeida, R. Martins, T. Ribeiro, M. Pintado *et al.*, "Omega-3 fatty acids from fish by-products: Innovative extraction and application in food and feed," *Food and Bioproducts Processing*, vol. 145, pp. 32–41, 2024.
- [3] M. Yi, Y. You, Y. Zhang, G. Wu, E. Karrar, L. Zhang *et al.*, "Highly valuable fish oil: Formation process, enrichment, subsequent utilization, and storage of eicosapentaenoic acid ethyl esters," *Molecules*, vol. 28, no. 2, p. 672, 2023.
- [4] N. Rubio-Rodríguez, S. Beltrán, I. Jaime, S. M. de Diego, M. T. Sanz, and J. Rovira, "Production of omega-3 polyunsaturated fatty acid concentrates: A review," *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 11, no. 1, pp. 1–12, 2010.
- [5] J. R. Bonilla-Méndez and J. L. Hoyos-Concha, "Métodos de extracción, refinación y concentración de aceite de pescado como fuente de ácidos grasos omega-3," *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, vol. 19, no. 3, pp. 621–644, 2018.
- [6] D. N. Hagbe, F. F. Dongho, R. Mba A., F. H. Njike, B. Simo, L. Lienou *et al.*, "Comparative study of extraction methods for nutritional and safety assessment of fish oils from *heterotis niloticus* co-products," *Applied Food Research*, vol. 5, p. 100783, 2025.
- [7] A. P. Antunes, C. Arantes, L. A. Guaraldo, and F. A. Cabral, "Fractionation of fish oil with supercritical carbon dioxide," *Journal of Food Engineering*, vol. 88, no. 3, pp. 381–387, 2008.
- [8] R. Ciriminna, F. Meneguzzo, R. Delisi, and M. Pagliaro, "Enhancing and improving the extraction of omega-3 from fish oil," *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, vol. 5, pp. 54–59, 2017.

- [9] T. J. Dillon, J. C. Aponte, R. Tarozo, and Y. Huang, "Purification of omega-3 polyunsaturated fatty acids from fish oil using silver-thiolate chromatographic material and high-performance liquid chromatography," *Journal of Chromatography A*, vol. 1312, pp. 18-25, 2013.
- [10] A. Khaliq, M. Hafeez-ur Rehman, F. Abbas, M. Nadeem, M. A. Rahim, F. Al-Asmari *et al.*, "Omega-3 fatty acids, lecithin, sterols, vitamins and lipid oxidation of olein and super olein fractions of fish oil produced by winterization," *Food Science & Nutrition*, vol. 13, no. 1, p. e4754, 2025.
- [11] S. H. Suseno, M. A. Ramadhan, and N. Albarokah, "Purification of kurisi (*nemipterus nematophorus*) fish oil derived from surimi processing products," *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, vol. 31, no. 1, pp. 186-192, 2025.
- [12] H. S. Heri, E. D. Puri, A. M. Jacob, and N. Fitriana, "Sardine oil purification with winterization," *Oriental Journal of Chemistry*, vol. 33, no. 6, pp. 3150-3159, 2017.
- [13] Q. Lei, S. Ba, H. Zhang, Y. Wei, J. Y. Lee, and T. Li, "Enrichment of omega-3 fatty acids in cod liver oil via alternate solvent winterization and enzymatic interesterification," *Food Chemistry*, vol. 199, pp. 364-371, 2016.
- [14] Ministerio de la Producción, "Anuario estadístico pesquero y acuícola 2022," Lima, Perú, 2023.
- [15] Instituto Nacional de Calidad (INACAL), "Normas técnicas peruanas sobre productos hidrobiológicos," Lima, Perú, 2019.
- [16] B. Zeleke, T. Birhanu, A. Mekonnen, and R. Duraisamy, "Extraction and characterizations of omega 3-fatty acid from catfish collected from arba minch chamo lake," *Cogent Food & Agriculture*, vol. 9, p. 2216042, 2023.
- [17] T. E. Llerena and D. M. Aranda, "Extracción y caracterización del aceite crudo obtenido de un hidrolizado enzimático de residuos frescos de anchoveta (*engraulis ringens*)," *Anales Científicos*, vol. 78, no. 1, pp. 34-42, 2017.
- [18] B. Soldo, V. Simat, J. Vlahović, D. Skroza, I. Ljubenkova, and I. Generalić Mekinić, "High quality oil extracted from sardine by-products as an alternative to whole sardines: Production and refining," *European Journal of Lipid Science and Technology*, vol. 121, p. 1800513, 2019.
- [19] D. G. Barta, V. Coman, and D. C. Vodnar, "Microalgae as sources of omega-3 polyunsaturated fatty acids: Biotechnological aspects," *Algal Research*, vol. 58, p. 102410, 2021.
- [20] M. Aarthy, P. Saravanan, N. Ayyadurai, M. K. Gowthaman, and N. R. Kamini, "A two-step process for production of omega-3 polyunsaturated fatty acid concentrates from sardine oil using *cryptococcus* sp. mtcc 5455 lipase," *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, vol. 125, pp. 25-33, 2016.