



## Relación entre composición química proximal y difusividad térmica de una especie comercial pelágica y demersal

Relationship between proximate chemical composition and thermal diffusivity of a commercial pelagic and demersal species

Fredy Crispin-Sanchez<sup>1,2\*</sup>; Fabiola Olivares-Ponce<sup>1</sup>; Raúl Porturas-Olaechea<sup>1</sup>;  
Tatiana Vergara Miranda<sup>2</sup>; Rodrigo Gamarra Navarrete<sup>2</sup>; Dalia Gallardo Ramirez<sup>2</sup>;  
Oscar Amado Crisóstomo Gordillo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de acuicultura e industrias pesqueras. Facultad de Ingeniería Pesquera. Universidad Nacional Agraria La Molina. Av. La Molina s/n, La Molina, Lima 12, Perú.

<sup>2</sup> Semillero de Investigación Re-Pesca. La Molina, Lima, Perú.

<sup>3</sup> Facultad de Química e Ingeniería Química. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

ORCID de los autores:

F. Crispin-Sanchez: <https://orcid.org/0000-0002-0490-3739>

F. Olivares-Ponce: <https://orcid.org/0000-0002-0722-5320>

R. Porturas-Olaechea: <https://orcid.org/0000-0003-1582-9084>

T. Vergara Miranda: <https://orcid.org/0009-0007-7808-4346>

R. Gamarra Navarrete: <https://orcid.org/0000-0003-3398-5478>

D. Gallardo Ramirez: <https://orcid.org/0000-0002-0966-4490>

O. A. Crisóstomo Gordillo: <https://orcid.org/0000-0002-4459-0589>

### RESUMEN

La difusividad térmica es una propiedad fundamental para el diseño y optimización de procesos térmicos en la industria pesquera, ya que está estrechamente relacionada con la composición química del recurso hidrobiológico. El objetivo del presente estudio fue determinar la difusividad térmica de una especie pelágica (caballa, *Scomber japonicus peruanus*) y una especie demersal (merluza, *Merluccius gayi peruanus*), y analizar su relación con la composición química proximal. La difusividad térmica se estimó a partir de curvas de penetración de calor, empleando el método de la fuerza impulsora reducida, mientras que la composición proximal se determinó mediante métodos oficiales AOAC. La merluza presentó un mayor contenido de humedad ( $\approx 82,1\%$ ) y un bajo nivel de lípidos ( $\approx 0,4\%$ ), lo que se asoció con una mayor difusividad térmica ( $3,96 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{h}$ ). Por el contrario, la caballa mostró menor humedad ( $\approx 70,5\%$ ) y mayor contenido de lípidos ( $\approx 5,3\%$ ), registrando una menor difusividad térmica ( $3,28 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{h}$ ). Los resultados indican que el contenido de humedad tiene un efecto positivo sobre la difusividad térmica, mientras que el contenido lipídico influye negativamente. Esta información resulta relevante para mejorar el diseño, control y eficiencia de los procesos térmicos en la industria pesquera.

**Palabras clave:** difusividad térmica; composición química proximal; especie pelágica; especie demersal; procesamiento pesquero.

### ABSTRACT

Thermal diffusivity is a key property for the design and optimization of thermal processes in the fish processing industry, as it is closely related to the chemical composition of the raw material. This study aimed to determine the thermal diffusivity of a pelagic species (*Scomber japonicus peruanus*) and a demersal species (*Merluccius gayi peruanus*), and to analyze its relationship with their proximate composition. Thermal diffusivity was estimated from heat penetration curves using the reduced driving force method, while proximate composition was determined following AOAC official procedures. The demersal species (merluza) showed higher moisture content ( $\approx 82.1\%$ ) and lower lipid levels ( $\approx 0.4\%$ ), which were associated with higher thermal diffusivity ( $3.96 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{h}$ ). In contrast, the pelagic species (caballa) exhibited lower moisture ( $\approx 70.5\%$ ) and higher lipid content ( $\approx 5.3\%$ ), resulting in lower thermal diffusivity ( $3.28 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{h}$ ). The results demonstrate that moisture positively influences thermal diffusivity, while lipids have a negative effect. This information is relevant for improving the design, control, and energy efficiency of thermal processes in the fish processing industry.

**Keywords:** thermal diffusivity; proximate composition; pelagic species; demersal species; fish processing.

## 1. Introducción

La industria pesquera desempeña un papel fundamental en el aprovechamiento y transformación de los recursos hidrobiológicos, especialmente a través de operaciones que implican transferencia de calor, como la cocción, el escaldado, la pasteurización, la esterilización y la congelación. En el Perú, una proporción significativa del desembarque pesquero se destina a productos congelados, enlatados y procesados para consumo directo, lo que resalta la necesidad de optimizar los procesos térmicos aplicados en el procesamiento pesquero (Ministerio de la Producción, 2023). La eficiencia y seguridad de dichos procesos dependen en gran medida del conocimiento preciso de las propiedades térmicas de la materia prima, ya que estas determinan la velocidad y uniformidad con que el calor se transfiere durante el procesamiento (Mishra, 2021).

Entre las propiedades térmicas más relevantes se encuentra la difusividad térmica, que describe la capacidad de un material para conducir calor en relación con su capacidad para almacenarlo. Esta propiedad depende de tres factores: la conductividad térmica, la densidad y la capacidad calorífica, y resulta fundamental para el diseño de equipos, la estimación de tiempos de proceso y la optimización del consumo energético en el procesamiento pesquero (Rao & Rizvi, 1995; Rahman, 2009). Desde un enfoque termodinámico, diversos autores han señalado que las propiedades térmicas de los alimentos pueden estimarse y analizarse en función de su composición y estructura, lo que permite comprender y predecir su comportamiento durante los procesos de transferencia de calor (Cruzalegui & Siche, 2025). En productos de origen hidrobiológico, la difusividad térmica está fuertemente influenciada por la composición química proximal, ya que los distintos componentes presentan conductividades térmicas distintas, siendo el agua el principal factor que contribuye a valores elevados de difusividad térmica (Carson & Hoang, 2022). Diversos estudios en productos hidrobiológicos han evidenciado que matrices con mayor contenido de humedad presentan mayores valores de difusividad térmica, mientras que un mayor contenido lipídico tiende a reducir esta propiedad, debido a la menor conductividad térmica de la grasa en comparación con el agua, comportamiento observado incluso en especies distintas a los peces, como crustáceos (Manimehalai et al., 2021).

Los recursos hidrobiológicos comerciales presentan una alta variabilidad en su composición, influenciada por factores como la especie, genética, edad, tamaño, estacionalidad, ciclo reproductivo, dieta, hábitat y condiciones ambientales (Love, 1970; Murray & Burt, 2001). Estas variaciones afectan principalmente los contenidos de humedad, proteínas y lípidos, componentes que influyen de manera directa en el comportamiento térmico del producto durante su procesamiento (Rao & Rizvi, 1995).

En este contexto, las especies pelágicas y demersales conforman dos grupos con características composicionales claramente diferenciadas. Las especies pelágicas suelen presentar un mayor contenido de lípidos, debido a su intensa actividad natatoria y mayores requerimientos energéticos. Por su parte, las especies demersales se caracterizan generalmente por un mayor contenido de humedad y bajos niveles de grasa (Murray & Burt, 2001; Yilmaz, 2021). Estas diferencias en la composición química originan comportamientos térmicos contrastantes, lo que tiene implicancias directas en la selección de parámetros de procesamiento y en la eficiencia de las operaciones en la industria pesquera (Kumbhar et al., 1981; Mishra, 2021).

A pesar de la importancia de la difusividad térmica en el procesamiento de productos pesqueros, la información disponible para especies hidrobiológicas comerciales del Pacífico Sur sigue siendo limitada. Algunos estudios experimentales han abordado la determinación de propiedades termofísicas en músculo de pescado bajo condiciones específicas de procesamiento o postcosecha, evidenciando que el comportamiento térmico del tejido puede verse afectado por cambios estructurales y fisicoquímicos (Olivares & Sánchez, 2014; Dávila Rojas, 2025). Sin embargo, los estudios que analizan de manera directa la relación entre la difusividad térmica y la composición química proximal en especies pesqueras comerciales son aún escasos, y los existentes reportan valores para un número reducido de especies y emplean metodologías diversas, lo que dificulta la comparación directa de resultados (Córdova & Cohaila, 1979; Radhakrishnan, 1997). Esta falta de datos experimentales restringe el desarrollo de modelos predictivos confiables, fundamentales para el diseño y la optimización de procesos térmicos en el procesamiento pesquero.

En este contexto, es necesario generar información experimental que permita comprender

cómo la composición química proximal influye en la difusividad térmica de especies con características biológicas contrastantes. Por ello, el objetivo del presente estudio fue determinar la difusividad térmica de una especie pelágica (*Scomber japonicus peruanus*) y una especie demersal (*Merluccius gayi peruanus*), y analizar su relación con la composición química proximal, con el fin de aportar criterios técnicos que contribuyan al diseño y optimización de procesos térmicos en el procesamiento pesquero.

## 2. Metodología

### Recolección y adecuación de muestras

El acondicionamiento de las muestras y la obtención de las curvas de penetración de calor se llevaron a cabo en los Laboratorios de Ingeniería de Procesos de la Facultad de Ingeniería Pesquera de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Las muestras correspondieron a muestras de caballa (*Scomber japonicus peruanus*) y merluza (*Merluccius gayi peruanus*), adquiridas en el Mercado Mayorista Pesquero de Ventanilla (Callao, Perú), en tallas comerciales y bajo condiciones de frescura adecuadas, evaluadas según criterios sensoriales establecidos para productos pesqueros (IMARPE, 1970; Zapana Velasquez, 2023).

Las muestras fueron transportadas en condiciones refrigeradas hasta el laboratorio, donde se realizó el eviscerado, fileteado y separación de la parte comestible. Posteriormente, se homogeneizaron para asegurar uniformidad en la medición de las propiedades térmicas, siguiendo procedimientos utilizados en estudios de transferencia de calor en productos pesqueros (Ibarz et al., 2000; Rahman, 2009).

### Análisis químico proximal

El análisis químico proximal se realizó por triplicado sobre la parte comestible de cada especie. El contenido de humedad se determinó mediante secado en estufa, según el método AOAC 934.01.

**Tabla 1 / Table 1**

Parámetros experimentales utilizados para el cálculo de la difusividad térmica / Experimental parameters used for calculating thermal diffusivity

Variable	Símbolo	Unidad	Descripción
Temperatura del baño maría	$T_a$	$^{\circ}\text{C}$	Temperatura constante del medio calefactor
Temperatura inicial	$T_0$	$^{\circ}\text{C}$	Temperatura inicial en el centro geométrico
Temperatura al tiempo t	T	$^{\circ}\text{C}$	Temperatura en el centro térmico
Tiempo	t	s	Tiempo de calentamiento
Fuerza impulsora reducida	$Y_{cf}$	–	Relación adimensional
Pendiente	m	$\text{s}^{-1}$	Pendiente de $Y_{cf}$ vs t
Difusividad térmica	$\alpha$	$\text{m}^2/\text{h}$	Difusividad térmica calculada

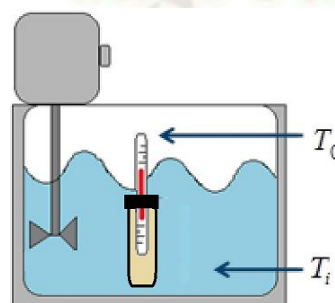
La cuantificación de proteínas se efectuó mediante el método Kjeldahl ( $N \times 6,25$ ), de acuerdo con el método AOAC 954.05 (AOAC, 2016). El contenido de lípidos se determinó por extracción Soxhlet, siguiendo el método AOAC 920.39, y las cenizas se evaluaron mediante incineración en mufla, según el método AOAC 942.05 (AOAC, 2016).

El contenido de carbohidratos se estimó por diferencia, restando del 100% la suma de humedad, proteínas, lípidos y cenizas, conforme a lo propuesto por Collazos (1993). Este procedimiento ha sido ampliamente utilizado en estudios de composición química de recursos hidrobiológicos comerciales (Murray & Burt, 2001; INS, 2017).

### Determinación de la difusividad térmica

La difusividad térmica de las especies estudiadas se determinó a partir de curvas de penetración de calor, empleando el método de la fuerza impulsora reducida, descrito por Ibarz et al. (2000) e Ibarz y Barbosa-Cánovas (2002), ampliamente utilizado para la evaluación experimental de propiedades térmicas en alimentos.

El esquema experimental utilizado para la medición se presenta en la Figura 1. Las variables experimentales, relaciones adimensionales y parámetros considerados en el cálculo de la difusividad térmica se detallan en la Tabla 1.



**Figura 1.** Esquema experimental para la determinación de la difusividad térmica.

**Figure 1.** Experimental scheme for the determination of thermal diffusivity.

Los valores de difusividad térmica se expresaron en  $m^2/h$  y se estimaron a partir de la pendiente de la región lineal en la curva  $Y_{cf}$  versus tiempo. La parte comestible de cada especie fue previamente homogeneizada para asegurar uniformidad térmica y colocada en tubos cilíndricos de vidrio Pyrex® (20 × 150 mm) con tapa. La geometría del sistema se mantuvo constante en todas las determinaciones. La temperatura inicial en el centro geométrico de la muestra ( $T_0$ ) se midió con un termómetro digital antes de iniciar el calentamiento.

Posteriormente los tubos se introdujeron en un baño maría con temperatura controlada y agitación constante, manteniendo uniforme la temperatura del medio calefactor ( $T_c$ ). Durante el calentamiento, se midió la temperatura en el centro térmico de la muestra ( $T$ ) en función del tiempo ( $t$ ) durante un total de 600 segundos, generándose así las curvas de penetración de calor ( $T = f(t)$ ).

A partir de los datos de temperatura y tiempo, se calculó la fuerza impulsora reducida ( $Y_{cf}$ ), una relación adimensional que describe el avance de la transferencia de calor en el sistema. La gráfica de  $Y_{cf}$  frente al tiempo permitió identificar una región lineal, cuya pendiente se utilizó para estimar la difusividad térmica ( $\alpha$ ), considerando la geometría cilíndrica del sistema y los fundamentos de transferencia de calor en alimentos (Rao & Rizvi, 1995; Rahman, 2009).

### Análisis estadístico

Los resultados del análisis químico proximal y de la difusividad térmica se expresaron como media  $\pm$  desviación estándar, a partir de tres repeticiones independientes para cada especie evaluada. Previamente a la aplicación de las pruebas estadísticas, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas de los datos, de acuerdo con los criterios establecidos para estudios experimentales en ingeniería de alimentos y procesamiento de productos pesqueros (Kumbhar et al., 1981; Mishra, 2021).

Para evaluar diferencias significativas entre la especie pelágica (*Scomber japonicus peruanus*) y la especie demersal (*Merluccius gayi peruanus*) en cuanto a su composición química proximal y difusividad térmica, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor, considerando a la especie como variable independiente. El nivel de significancia estadística se estableció en  $p < 0,05$ .

Asimismo, se realizó un análisis de relación entre los principales componentes químicos proximales (humedad, proteínas y lípidos) y la difusividad térmica, con el fin de identificar la influencia de estos componentes sobre el comportamiento térmico de las especies estudiadas. El contenido de carbohidratos no fue incluido como variable explicativa en el análisis estadístico debido a su contenido prácticamente nulo en ambas especies, lo que limita su variabilidad y su contribución significativa a la explicación de la difusividad térmica.

El procesamiento estadístico de los datos se realizó utilizando el software Design-Expert® v.7 Trial (Stat-Ease, Minneapolis, MN, USA), el cual permitió evaluar la significancia de los factores considerados mediante análisis de varianza. Asimismo, se aplicó un análisis de correlación de Pearson para evaluar la relación entre los componentes químicos proximales (humedad, proteínas y lípidos) y la difusividad térmica.

Para el análisis complementario de datos, elaboración de gráficos y organización de resultados, se utilizó el software GraphPad Prism 9. Las metodologías aplicadas se desarrollaron conforme a criterios técnicos recomendados en estudios sobre propiedades térmicas de alimentos (Rao & Rizvi, 1995; Rahman, 2009).

## 3. Resultados y discusión

### Composición química proximal

La composición química proximal de la especie pelágica (*Scomber japonicus peruanus*) y de la especie demersal (*Merluccius gayi peruanus*) se presenta en la Tabla 2. Se observaron diferencias marcadas en los contenidos de humedad y lípidos entre ambas especies, lo cual concuerda con las características biológicas y ecológicas propias de peces pelágicos y demersales (Love, 1970; Murray & Burt, 2001).

La merluza presentó un mayor contenido de humedad ( $82,12 \pm 0,11$  %) y un bajo contenido de lípidos ( $0,42 \pm 0,12$  %), valores característicos de especies demersales magras. En contraste, la caballa mostró un contenido de humedad menor ( $70,50 \pm 0,12$  %) (Figura 2a) y un contenido lipídico significativamente más alto ( $5,29 \pm 0,10$  %) (Figura 2b), en concordancia con lo reportado para especies pelágicas de alta actividad natatoria y elevado requerimiento energético (Murray & Burt, 2001; Yilmaz, 2021).

El contenido proteico fue mayor en la caballa ( $22,00 \pm 0,11$  %) en comparación con la merluza

( $16,17 \pm 0,08\%$ ) (Figura 2c). En cuanto al contenido de cenizas, también fue superior en la caballa ( $2,21 \pm 0,02\%$ ) respecto a la merluza ( $1,24 \pm 0,04\%$ ) (Figura 2d), lo que podría atribuirse a diferencias en la proporción de tejidos musculares, carga mineral o estructura esquelética. Por otro lado, el contenido de carbohidratos fue prácticamente nulo en ambas especies, lo cual es característico de peces marinos, donde estos compuestos se presentan principalmente en forma de glucógeno residual (INS, 2017).

Estas diferencias en la composición proximal influyen directamente sobre las propiedades térmicas del producto, en particular sobre la difusividad térmica (Rao & Rizvi, 1995; Rahman, 2009).

### Difusividad térmica

El análisis del comportamiento térmico de las muestras durante el calentamiento se presenta en la Figuras 3. La Figura 3a muestra la evolución de la temperatura en el centro térmico de las

muestras de caballa y merluza, donde se observa una respuesta térmica más rápida en la merluza, lo que podría estar relacionado con su mayor contenido de agua, que favorece la transferencia de calor en alimentos con alta humedad. La Figura 3b presenta la evolución de la fuerza impulsora reducida ( $Y_{cf}$ ) en función del tiempo, mientras que la Figura 3c muestra la transformación logarítmica de  $Y_{cf}$  y el ajuste lineal obtenido, utilizado para el cálculo de la difusividad térmica ( $\alpha$ ). Estas curvas permiten visualizar con claridad el comportamiento térmico de ambas especies y respaldan la validez del modelo matemático aplicado para estimar la pendiente en la región lineal de  $\log(Y_{cf})$  vs tiempo.

Los valores de difusividad térmica calculados se presentan en la Tabla 4. Se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre la especie pelágica (*Scomber japonicus peruanus*) y la especie demersal (*Merluccius gayi peruanus*), lo que evidencia la influencia de la composición química proximal sobre el comportamiento térmico de los recursos hidrobiológicos.

**Tabla 2**

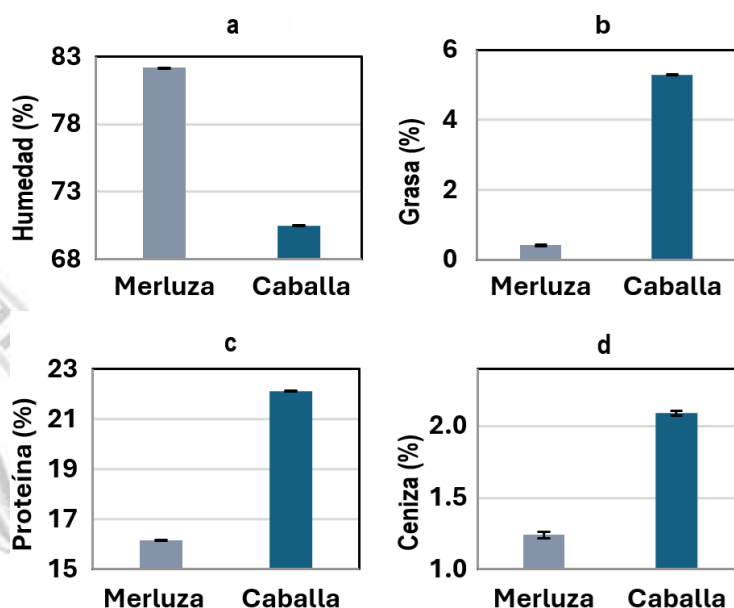
Composición química proximal de una especie pelágica y una demersal (% base húmeda)

**Table 2**

Proximate chemical composition of a pelagic and a demersal species (% wet basis)

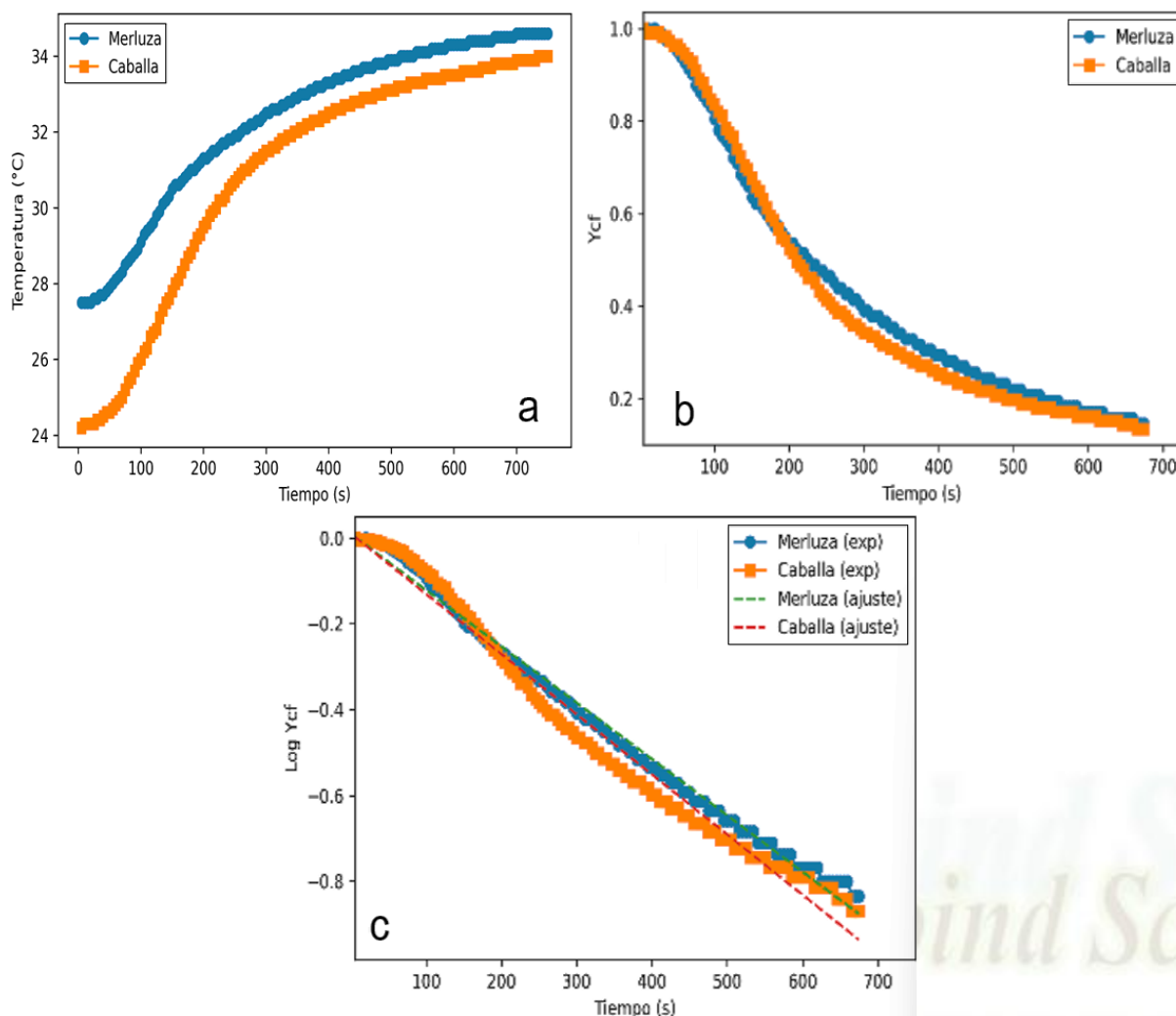
Especie / Tipo	Humedad (%)	Proteína (%)	Lípidos (%)	Carbohidratos (%)	Cenizas (%)
<i>Merluccius gayi peruanus</i> Demersal	$82,12 \pm 0,11$	$16,17 \pm 0,08$	$0,42 \pm 0,12$	$0,00 \pm 0,00$	$1,24 \pm 0,04$
<i>Scomber japonicus peruanus</i> Pelágica	$70,50 \pm 0,12$	$22,00 \pm 0,11$	$5,29 \pm 0,10$	$0,00 \pm 0,00$	$2,21 \pm 0,02$

**Nota:** Valores expresados como media  $\pm$  desviación estándar ( $n = 3$ ).



**Figura 2.** Contenido de a) Humedad (%), b) Grasa (%), c) Proteína (%), d) Ceniza (%) y e) Difusividad Térmica ( $\times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ) de las especies de Merluza y Caballa.

**Figure 2.** Content of a) Moisture (%), b) Fat (%), c) Protein (%), d) Ash (%) and e) Thermal Diffusivity ( $\times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ) of the Hake and Mackerel species.



**Figura 3.** Comportamiento térmico de las especies durante el calentamiento experimental. (3a) Evolución de la temperatura en el centro térmico de las muestras de caballa y merluza, (3b) Comportamiento de la fuerza impulsora reducida ( $Y_{cf}$ ) en función del tiempo y (3c) Representación logarítmica de  $Y_{cf}$  y ajuste lineal utilizado para la estimación de la difusividad térmica ( $\alpha$ ).

**Figure 3.** Thermal behavior of the species during experimental heating. (3a) Evolution of the temperature at the thermal center of the mackerel and hake samples, (3b) Behavior of the reduced driving force ( $Y_{cf}$ ) as a function of time and (3c) Logarithmic representation of  $Y_{cf}$  and linear fit used for the estimation of the thermal diffusivity ( $\alpha$ ).

**Tabla 4**  
Difusividad térmica de una especie pelágica y una demersal

**Table 4**  
Thermal diffusivity of a pelagic and a demersal species

Especie	Tipo	Difusividad térmica ( $m^2/h \times 10^{-4}$ )
<i>Merluccius gayi peruanus</i>	Demersal	$3,96 \pm 0,01$
<i>Scomber japonicus peruanus</i>	Pelágica	$3,28 \pm 0,01$

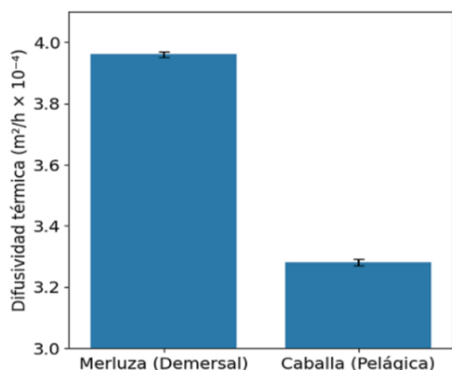
**Nota:** Valores expresados como media  $\pm$  desviación estándar ( $n = 3$ ).

La merluza presentó el valor más alto de difusividad térmica ( $3,96 \times 10^{-4} m^2/h$ ), mientras que la caballa mostró un valor menor ( $3,28 \times 10^{-4} m^2/h$ ). Esta diferencia puede explicarse por

su mayor contenido de humedad y bajo contenido de lípidos, condiciones que favorecen una mayor conductividad térmica. El agua posee una conductividad térmica considerablemente superior a la de los lípidos y otros componentes sólidos, facilitando así la propagación del calor en matrices con alta proporción de humedad (Rao & Rizvi, 1995; Rahman, 2009).

En contraste, el alto contenido lipídico de la caballa puede actuar como barrera térmica, debido a la baja conductividad de las grasas, lo que reduce la capacidad de transferencia de calor dentro del producto. Este patrón ha sido reportado en estudios previos sobre propiedades térmicas de alimentos con distintas composiciones químicas (Kumbhar et al., 1981; Mishra, 2021).

La Figura 4 resume gráficamente esta diferencia entre especies, mostrando los valores medios de difusividad térmica obtenidos experimentalmente.



**Figura 4.** Difusividad Térmica ( $\times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s) de las especies de Merluza y Caballa.

**Figure 4.** Thermal Diffusivity ( $\times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s) of the Hake and Mackerel species.

Por otro lado, al analizar la relación entre la composición proximal y la difusividad térmica (Figuras 2 y 4), se observa que un mayor contenido de humedad tiende a estar asociado con menores valores de difusividad térmica, lo cual concuerda con lo reportado en estudios previos (Rao & Rizvi, 1995; Rahman, 2009). A su vez, se aprecia que los contenidos de grasa, proteína y ceniza presentan una asociación positiva con la difusividad térmica, lo que sugiere que estos componentes podrían contribuir al aumento de la capacidad del alimento para conducir calor, aunque en diferente magnitud.

#### Relación entre composición proximal y difusividad térmica

Los resultados obtenidos muestran que la composición química proximal influye significativamente sobre la difusividad térmica de las especies evaluadas. Las diferencias observadas entre caballa y merluza en esta propiedad térmica pueden explicarse, en parte, por las variaciones en sus contenidos de humedad, proteína, grasa y cenizas.

Como se observa en las Figuras 2 y 4, la merluza presentó un mayor contenido de humedad y menor contenido de grasa, en comparación con la caballa. Esta diferencia composicional se refleja en sus valores de difusividad térmica, ya que la merluza mostró un valor significativamente más alto de  $\alpha$ . No obstante, el análisis estadístico sugiere que la relación entre humedad y difusividad térmica no es necesariamente directa.

La Tabla 5 muestra los valores de probabilidad ( $p$ ) obtenidos en los análisis de varianza (ANOVA) aplicados a cada variable evaluada, tanto en la

composición química proximal como en la difusividad térmica de las especies estudiadas. Estos análisis permitieron identificar si existen diferencias estadísticamente significativas entre la caballa (*Scomber japonicus peruanus*) y la merluza (*Merluccius gayi peruanus*).

Los resultados muestran valores de  $p < 0,05$ , lo cual indica que existen diferencias significativas entre ambas especies en cuanto a su contenido de humedad, proteína, grasa, ceniza y su respectiva difusividad térmica. Este hallazgo es consistente con la variabilidad biológica y ecológica de las especies seleccionadas, y valida la pertinencia de estudiar su comportamiento térmico de manera diferenciada.

**Tabla 5 / Table 5**

Valores de Probabilidad obtenidos en los Análisis de Varianza para cada variable evaluada / Probability values obtained in the Analysis of Variance for each evaluated variable

Variable	Valor de Probabilidad
Humedad	0,0000
Grasa	0,0000
Proteína	0,0000
Ceniza	0,0004
Difusividad	0,0001

La Tabla 5, por tanto, aporta evidencia estadística sólida que respalda la conclusión de que las propiedades térmicas no pueden generalizarse entre especies pesqueras sin considerar previamente su composición química. Además, estos resultados constituyen la base para aplicar posteriormente el análisis de correlación entre variables proximales y difusividad térmica (Tabla 6).

La Tabla 6 presenta los coeficientes de correlación de Pearson entre los componentes de la composición química proximal (humedad, proteína, grasa y ceniza) y la difusividad térmica de las especies evaluadas. Esta tabla constituye un elemento central del análisis estadístico del estudio, al permitir cuantificar la fuerza y dirección de la relación entre variables fisicoquímicas y térmicas.

Los resultados muestran una correlación negativa fuerte entre la humedad y la difusividad térmica ( $r = -0,993$ ), lo que indica que, a medida que aumenta el contenido de agua, la capacidad del alimento para conducir calor tiende a disminuir en este tipo de matrices. Por el contrario, los contenidos de proteína, grasa y ceniza presentan correlaciones positivas y significativas con la difusividad térmica ( $r \geq 0,977$ ), sugiriendo que una mayor proporción de componentes sólidos puede favorecer la transmisión de calor.

Tabla 6

Correlaciones de Pearson entre los componentes proximales y la Difusividad Térmica

Table 6

Pearson correlations between proximal components and thermal diffusivity

	Humedad	Grasa	Proteína	Ceniza	Difusividad
Humedad		-1.0000 0.0000	-0.9997 0.0000	-0.9839 0.0004	-0.9930 0.0001
Grasa	-1.0000 0.0000		0.9997 0.0000	0.9837 0.0004	0.9928 0.0001
Proteína	-0.9997 0.0000	0.9997 0.0000		0.9792 0.0006	0.9927 0.0001
Ceniza	-0.9839 0.0004	0.9837 0.0004	0.9792 0.0006		0.9772 0.0008
Difusividad	-0.9930 0.0001	0.9928 0.0001	0.9927 0.0001	0.9772 0.0008	

Nota: El valor superior corresponde al coeficiente de correlación. El color rojo indica una correlación positiva, mientras que el color azul una negativa.

Estos hallazgos respaldan la hipótesis del estudio: la composición química proximal influye significativamente en la propiedad térmica del alimento, en este caso, la difusividad térmica. Además, la Tabla 6 proporciona evidencia cuantitativa que complementa la interpretación gráfica de las Figuras 2 y 4, fortaleciendo el argumento de que cada componente químico contribuye de manera diferenciada al comportamiento térmico de productos pesqueros. Aunque la grasa tiene baja conductividad térmica, su correlación positiva podría estar asociada a su interacción estructural con otras macromoléculas, o a su distribución en la matriz, lo que requiere mayor estudio. Por otro lado, la proteína y la ceniza —componentes estructurales más densos— suelen contribuir positivamente a la capacidad térmica total del alimento, como se ha reportado en estudios previos (Rao & Rizvi, 1995; Rahman, 2009).

El contenido de carbohidratos no fue incluido en el análisis de correlación debido a su valor prácticamente nulo en ambas especies, lo que limita su variabilidad y aporte estadístico. Esta característica es consistente con lo reportado en bases de datos de composición nutricional de recursos hidrobiológicos comerciales (INS, 2017). En conjunto, estos hallazgos refuerzan la necesidad de ajustar los parámetros de procesamiento térmico en función de la composición química específica de cada especie, ya que su comportamiento térmico varía considerablemente incluso entre productos de origen similar. Los coeficientes de la correlación de Pearson (Tabla 6) obtenidos entre las relaciones de la humedad con las demás variables son negativos, lo cual indica una relación inversa entre esta y el resto de las variables, con alto grado de

significancia, al menos entre estas dos especies de pescado.

#### 4. Conclusiones

El presente estudio evidenció que la composición química proximal influye significativamente en la difusividad térmica de productos pesqueros, específicamente en dos especies de comportamiento ecológico contrastante: la pelágica *Scomber japonicus peruanus* (caballa) y la demersal *Merluccius gayi peruanus* (merluza). La merluza presentó un valor más alto de difusividad térmica ( $3,96 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{h}$ ) en comparación con la caballa ( $3,28 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{h}$ ), diferencia que se relaciona con su mayor contenido de humedad y menor proporción de lípidos. El análisis de correlación estadística reveló asociaciones negativas entre humedad y difusividad térmica, y asociaciones positivas con proteína, grasa y cenizas, lo que sugiere una influencia compleja de la composición proximal sobre el comportamiento térmico.

Estos hallazgos permiten concluir que el diseño de procesos térmicos en productos pesqueros debe considerar las características específicas de cada especie, ya que variaciones en la composición pueden alterar significativamente la eficiencia de la transferencia de calor. En consecuencia, una estandarización sin considerar estas propiedades podría comprometer la inocuidad, calidad y rendimiento energético de los tratamientos térmicos aplicados.

Los resultados obtenidos constituyen una base útil para la optimización del procesamiento térmico en la industria pesquera, y abren la posibilidad de profundizar en estudios similares con otras especies hidrobiológicas de interés comercial.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Departamento de Acuicultura e Industrias Pesqueras de la Facultad de Ingeniería Pesquera de la Universidad Nacional Agraria La Molina por las facilidades brindadas para el uso de las instalaciones y equipos necesarios para el desarrollo de este estudio. Asimismo, se reconoce la participación del semillero de investigación Re-Pesca por su apoyo técnico y académico durante la ejecución del trabajo.

## Referencias bibliográficas

- AOAC. (2016). Official methods of analysis (20th ed.). Association of Official Analytical Chemists.
- Carson, J. K., & Hoang, T. T. (2022). Thermal properties of foods. En *Handbook of food engineering* (pp. 1–30). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003225752>
- Collazos, C. (1993). Tabla de composición de alimentos. Instituto Nacional de Nutrición.
- Córdova, A., & Cohaila, D. (1979). Determinación de propiedades térmicas en alimentos. *Revista de Ingeniería Química*, 12(2), 45–52.
- Cruzalegui, R. J., & Siche, R. (2025). Thermal properties of fruits and their derivatives: Fundamentals and estimation methods. *Food Research*, 9(3), 159–171. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.9\(3\).3-199](https://doi.org/10.26656/fr.2017.9(3).3-199)
- Dávila Rojas, L. C. (2025). Efecto de la temperatura de refrigeración en las propiedades termofísicas de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) en etapa comercial (Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial. Repositorio Institucional UNTRM.
- Ibarz, A., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2002). *Unit operations in food engineering*. CRC Press.
- Ibarz, A., Pagán, J., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2000). Heat transfer in foods. En *Introduction to food engineering* (pp. 231–278). CRC Press.
- IMARPE. (1970). *Manual de evaluación de la frescura del pescado*. Instituto del Mar del Perú.
- INS. (2017). *Tabla peruana de composición de alimentos*. Instituto Nacional de Salud.
- Kumbhar, B. K., Kulkarni, S. D., & Raghavan, G. S. V. (1981). Thermal diffusivity of food materials. *Journal of Food Science*, 46(6), 1748–1751. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1981.tb04477.x>
- Love, R. M. (1970). *The chemical biology of fishes*. Academic Press.
- Manimehalai, N., Karthickumar, P., & Rathnakumar, K. (2021). Thermophysical properties of brackish water shrimp (*Litopenaeus vannamei*) for process design and optimization. *International Journal of Nutrition, Pharmacology, Neurological Diseases*, 11(4), 298–302. [https://doi.org/10.4103/ijnpnd.ijnpnd\\_28\\_21](https://doi.org/10.4103/ijnpnd.ijnpnd_28_21)
- Mishra, R. K. (2021). Heat transfer properties of foods and food products. *Journal of Food Process Engineering*, 44(3), e13615. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13615>
- Murray, J., & Burt, J. R. (2001). The composition of fish. En *Fish and fish products* (pp. 3–30). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1185-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1185-4_1)
- Olivares Ponce, F. O., & Sánchez Amado, D. (2014). Variación de las propiedades termofísicas de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) durante el rigor mortis. *Anales Científicos*, 75(1), 169–175.
- Polachini, T. C., Silva, F. A., & Augusto, P. E. D. (2023). Thermal properties of protein-based food matrices. *Food Engineering Reviews*, 15, 112–129. <https://doi.org/10.1007/s12393-022-09317-6>
- Rahman, M. S. (2009). *Food properties handbook* (2nd ed.). CRC Press.
- Rao, M. A., & Rizvi, S. S. H. (1995). *Engineering properties of foods* (2nd ed.). Marcel Dekker.
- Yilmaz, E. (2021). Proximate composition and quality characteristics of pelagic and demersal fish species. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 30(5), 529–540. <https://doi.org/10.1080/10498850.2021.1906543>
- Zapana Velasquez, C. (2023). Evaluación de la calidad del pescado fresco comercializado en mercados mayoristas. *Revista Peruana de Ingeniería Pesquera*, 5(1), 21–30.

