




# DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS Y SU RELACIÓN CON LA CONDICIÓN REPRODUCTIVA DE ANCHOVETA PERUANA *Engraulis ringens* DE LA ZONA DEL CALLAO, EN EL PERIODO ABRIL 2018 A MARZO 2019

## FATTY ACID COMPOSITION AND ITS RELATIONSHIP WITH THE REPRODUCTIVE CONDITION OF *Engraulis ringens* OFF CALLAO, PERU (APRIL 2018 - MARCH 2019)

Cecilia Roque<sup>1,\*</sup>  Javier Castillo<sup>1</sup>  Leenin Flores<sup>2</sup>   
Antony Ruiz<sup>2</sup>  Tony Anculle<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Instituto del Mar del Perú, Dirección General de Investigaciones de Recursos Pelágicos, Callao, Perú.

<sup>2</sup> Instituto del Mar del Perú, Dirección General de Investigaciones en Acuicultura, Callao, Perú.

<sup>3</sup> Instituto del Mar del Perú, Dirección General de Investigaciones Oceanográficas y Cambio Climático, Callao, Perú.

\*Correspondencia. E-mail: [croque@imarpe.gob.pe](mailto:croque@imarpe.gob.pe)

Recibido: 07-04-2026, Aceptado: 18-06-2026, Publicado: 25-06-2026

### RESUMEN

La anchoveta *Engraulis ringens*, es el pez pelágico más abundante del mar peruano y es la principal especie que sustenta la pesquería peruana. Esta especie, es capaz de almacenar reservas de energía en forma de grasa, constituyendo una excelente fuente de ácidos grasos esenciales, por ello, el presente estudio tiene como objetivo: determinar su perfil de ácidos grasos (con énfasis en el EPA y DHA) y evaluar si dicha composición se relaciona con la condición reproductiva, utilizando la fracción desovante (FD) y el índice gonadosomático (IGS). Se utilizó anchoveta proveniente del seguimiento de la pesquería pelágica artesanal e industrial de la zona del Callao, durante el periodo comprendido entre abril 2018 y marzo 2019. Se realizó el análisis de contenido de grasa con equipo extractor de grasa, determinándose los tipos de ácidos grasos mediante la metodología de Folch. Se encontró que el principal ácido de grasa en el cuerpo de la anchoveta es el ácido palmítico, con valores que van de 5,16 % a 26,45 %, presentando sus menores valores en los meses de setiembre y octubre, siendo los meses en los que la especie desova con mayor intensidad. Se realizó la interrelación de los ácidos grasos DHA (ácido docosahexaenoico) y EPA (ácido eicosapentaenoico) con los índices reproductivos, encontrándose una relación inversa con el índice gonadosomático (IGS) y la fracción desovante (FD), determinándose que los ácidos grasos son de gran importancia en el evento reproductivo y sus mayores valores se registraron en la época de reposo reproductivo de la anchoveta.

PALABRAS CLAVE: anchoveta peruana, ácidos grasos, DHA, EPA, FD

### ABSTRACT

*Engraulis ringens* is the dominant small pelagic fish in the Humboldt Current System and constitutes the foundation of the Peruvian fishery. As a lipid-rich species, it accumulates substantial energy reserves in the form of fatty acids that support essential physiological processes, including reproduction. This study investigated the fatty acid composition of *E. ringens*, with particular emphasis on eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA), and examined their relationship with reproductive condition as measured by the gonadosomatic index (GSI) and spawning fraction (SF). Samples were collected from artisanal and industrial fisheries operating off Callao, Peru, between April 2018 and March 2019. Total lipid content and fatty acid composition were determined using standard extraction and analytical procedures (Folch method). Palmitic acid was the dominant fatty acid throughout the study period, accounting for 5.16–26.45 % of total fatty acids. Its lowest concentrations were recorded during September and October, coinciding with the period of greatest reproductive activity. EPA and DHA exhibited clear temporal variability and were inversely associated with both reproductive indicators. Elevated concentrations of these essential fatty acids were observed during the reproductive resting phase, whereas lower concentrations occurred during periods of active spawning.

KEYWORDS: *Engraulis ringens*, fatty acids, DHA, EPA, SF

COMO REFERENCIAR ESTE ARTÍCULO (APA 7ed): Roque, C., Castillo, J., Flores, L., Ruiz, A. & Anculle, T. (2026). Determinación de ácidos grasos y su relación con la condición reproductiva de anchoveta peruana *Engraulis ringens* de la zona del Callao, en el periodo abril 2018 a marzo 2019. *Bol Inst Mar Perú*, 41(1), e465. <https://doi.org/10.53554/boletin.v41i1.465>

## 1. INTRODUCCIÓN

La anchoveta *Engraulis ringens* es el pez pelágico más abundante del mar peruano y la principal especie que sustenta la pesquería peruana. Tiene un ciclo de vida corto con una longevidad de 3 o 4 años y alcanza tamaños de hasta 20 cm de longitud total (LT). Esta especie se caracteriza por ser un desovador parcial y desova en todas las latitudes del mar peruano, las áreas más importantes se localizan desde frente a Chicama (7°30'S) hasta Chimbote (9°S) y desde el Callao (12°S) hasta Pisco (14°S) (BOUCHON CORRALES, 2018).

La anchoveta es capaz de almacenar reservas de energía en forma de grasa que acumula mayormente en la gónada, músculo o grasa corporal (ESPINOZA *et al.*, 2009), constituyendo una excelente fuente de ácidos grasos esenciales (AGE) pertenecientes a las familias de ácidos grasos omega 3 destinados para el consumo humano directo (HERRERA-CRUZ *et al.*, 2025).

Los lípidos de la dieta influyen en el metabolismo, crecimiento y bienestar de los animales (SARGENT *et al.*, 1993) ya que se requieren para proveer energía y producir fosfolípidos y lípidos polares fundamentales para la formación de la membrana celular. En los peces, los triglicéridos son la principal fuente de energía para su crecimiento, especialmente durante el desarrollo embrionario y son nutricionalmente indispensables para su desarrollo neural por ello, es común que en su cerebro y retina se encuentren altas concentraciones de ácido docosahexaenoico (C22:6n-3, DHA) un ácido graso (AG) del tipo omega 3 (SARGENT *et al.*, 1993). WATANABE (1993) considera a los ácidos eicosapentaenoico (EPA) y DHA como ácidos grasos esenciales (AGE) para el desarrollo de los peces marinos. El DHA constituye hasta el 60 % de los lípidos presentes en el segmento externo de los fotorreceptores de la retina, cumpliendo funciones a nivel visual y cerebral (MARIANE, 1998). El EPA es importante para el crecimiento y la respuesta inmune en especies como *Oplegnathus fasciatus* (HONG *et al.*, 2017).

Para el ser humano, los ácidos grasos son fundamentales porque proporcionan energía, constituyen las membranas celulares, protegen órganos y facilitan el transporte de vitaminas liposolubles. Son esenciales para la salud cardio-

## 1. INTRODUCTION

*Engraulis ringens* is the dominant small pelagic fish in the Humboldt Current System and the most important species supporting the Peruvian fishery. The species has a short life span of approximately three to four years, reaches a maximum total length (TL) of about 20 cm, and exhibits a batch-spawning reproductive strategy. Reproduction occurs throughout the Peruvian marine ecosystem, with the principal spawning grounds located between Chicama (7°30'S) and Chimbote (9°S) and between Callao (12°S) and Pisco (14°S) (BOUCHON CORRALES, 2018).

*E. ringens* accumulates energy reserves in the form of lipids, which are stored primarily in the gonads, muscle tissue, and visceral fat deposits (ESPINOZA *et al.*, 2009). These reserves constitute an important source of essential fatty acids (EFAs), particularly omega-3 polyunsaturated fatty acids, which are highly valued for human nutrition (HERRERA-CRUZ *et al.*, 2025).

Dietary lipids play a fundamental role in animal metabolism, growth, and physiological performance, serving both as an energy source and as precursors for phospholipids and other polar lipids required for cellular membrane formation (SARGENT *et al.*, 1993). In fishes, triglycerides represent the primary energy reserve supporting somatic growth and embryonic development. Long-chain polyunsaturated fatty acids are also indispensable for neural development, and consequently, high concentrations of docosahexaenoic acid (DHA; 22:6n-3) are commonly found in the brain and retina (SARGENT *et al.*, 1993). Eicosapentaenoic acid (EPA; 20:5n-3) and DHA are widely recognized as essential fatty acids for marine fishes (WATANABE, 1993). DHA may account for up to 60% of the lipid fraction in retinal photoreceptor outer segments, where it plays critical roles in visual and neurological function (MARIANE, 1998). EPA, in turn, contributes to growth performance and immune function, as demonstrated in *Oplegnathus fasciatus* (HONG *et al.*, 2017).

In humans, fatty acids are essential components of cellular membranes, major sources of metabolic energy, and key regulators of cardiovascular, neurological, and visual health. They also

vascular, cerebral y visual, además de regular procesos inflamatorios y del metabolismo (SARGENT *et al.*, 2002). El EPA y el DHA tienen diversos roles, entre ellos, inhibir parcialmente diversos procesos inflamatorios como la quimiotaxis de leucocitos y la producción de eicosanoides como las prostaglandinas y los leucotrienos a partir del ácido araquidónico (ARA) omega-6 (CALDER, 2014).

La grasa de la anchoveta peruana *Engraulis ringens* y de otros peces azules son una excelente fuente de ácidos grasos esenciales (AGE) de la familia omega 3 (HERRERA-CRUZ *et al.*, 2025). En particular, los ácidos grasos omega-3 (EPA: 20:5n-3 y DHA: 22:6n-3), constituyen componentes fundamentales en la caracterización del perfil lipídico de la anchoveta debido a su relevancia en procesos fisiológicos, reproductivos y ecológicos. Los cambios de los valores de grasa en la anchoveta peruana, se consideran buenos indicadores del grado de bienestar del pez, dado que la grasa y humedad son fluctuantes debido a factores intrínsecos (estado madurez gonadal y tamaño del individuo) y extrínsecos determinados por el ambiente (PLÁCIDO CÁRDENAS, 2006). El contenido graso (CG) suele guardar una relación inversa con los índices reproductivos, por lo que su conocimiento sirve para predecir los periodos principales de desove (BECKLEY & VAN DER LINGEN, 1999; AYALA GALDOS *et al.*, 2002).

A pesar de lo anterior, aún no se conoce en detalle la composición de los ácidos grasos en la anchoveta ni cómo varían en el tiempo, especialmente en relación con la condición reproductiva. Por ello, el presente estudio tiene como objetivo: (1) determinar el perfil de ácidos grasos (con énfasis en el EPA y DHA) de la anchoveta capturada en la zona del Callao y (2) evaluar si dicha composición se relaciona con la condición reproductiva, utilizando la fracción desovante (FD) y el índice gonadosomático (IGS).

El estudio anual de la determinación de los ácidos grasos de la anchoveta permite conocer las variaciones temporales en la calidad nutricional y energética asociados a cambios ambientales, alimentarios y reproductivos, aportando información relevante para el desarrollo sostenible de la pesquería.

participate in inflammatory pathways and metabolic regulation (SARGENT *et al.*, 2002). EPA and DHA exert multiple physiological functions, including the modulation of inflammatory responses through the partial inhibition of leukocyte chemotaxis and the synthesis of eicosanoids derived from arachidonic acid (ARA; 20:4n-6), such as prostaglandins and leukotrienes (CALDER, 2014).

The lipid fraction of *E. ringens*, as in other small pelagic fishes, represents an important source of omega-3 essential fatty acids (HERRERA-CRUZ *et al.*, 2025). In particular, EPA and DHA constitute key components of its lipid profile because of their physiological, reproductive, and ecological significance. Temporal fluctuations in fat content are considered reliable indicators of fish condition, reflecting both intrinsic factors, such as gonadal maturation and body size, and extrinsic factors associated with environmental variability (PLÁCIDO CÁRDENAS, 2006). Fat content (FC) frequently exhibits an inverse relationship with reproductive indices, making them useful indicators of reproductive investment and spawning activity (BECKLEY & VAN DER LINGEN, 1999; AYALA GALDOS *et al.*, 2002).

Despite the ecological and economic importance of *E. ringens*, information on the temporal variability of its fatty acid composition and its relationship with reproductive processes remains limited. Therefore, this study aims: (1) to characterize the fatty acid profile of *E. ringens* captured off Callao, with particular emphasis on EPA and DHA, and (2) to evaluate the relationship between fatty acid composition and reproductive condition using the spawning fraction (SF) and gonadosomatic index (GSI) as reproductive indicators.

A year-round assessment of fatty acid composition provides valuable insights into temporal changes in the nutritional and energetic condition of *E. ringens*, reflecting the combined influence of environmental variability, feeding dynamics, and reproductive investment. Such information contributes to a better understanding of the species' life-history strategy and provides a scientific basis for the sustainable management of this key fishery resource.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Materia Prima

Se utilizó individuos congelados de anchoveta peruana *E. ringens*, 371 muestras proveniente del seguimiento de la pesquería pelágica artesanal e industrial de la zona de Callao, durante el periodo comprendido entre abril 2018 y marzo 2019. Durante el 2018 se analizaron 287 muestras y en el año 2019 se analizaron 84 muestras. En la Tabla 1 se menciona el número de muestra analizados a nivel mensual.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### Sample Collection

A total of 371 frozen specimens of *Engraulis ringens* were collected through the artisanal and industrial pelagic fishery monitoring program conducted off Callao, Peru, between April 2018 and March 2019. Of these, 287 specimens were analyzed in 2018 and 84 in 2019. Monthly sample sizes are presented in Table 1.

Tabla 1.- Numero de muestras de anchoveta peruana *Engraulis ringens* de la zona de Callao durante el periodo abril 2018 a marzo 2019

Table 1. Sample size of *Engraulis ringens* collected from the Callao region over the period April 2018–March 2019

MESES	2018	2019
Enero	0	48
Febrero	0	12
Marzo	0	24
Abril	47	0
Mayo	48	0
Junio	24	0
Julio	18	0
Agosto	36	0
Setiembre	54	0
Octubre	6	0
Noviembre	24	0
Diciembre	30	0
Total	287	84

### Medición del contenido graso

Se realizó la medición de los ejemplares al medio centímetro, se agrupó a los individuos en los siguientes rangos de tallas (10 ejemplares por grupo de talla o según disponibilidad de las muestras): 8-10 cm; 10,5-11,5 cm; 12,0-12,5 cm; 13,0-14,0 cm; 14,5-16,0 cm y >16,0 cm. Se procedió a la molienda realizando una buena homogenización, se separaron tres réplicas de cada muestra (cada réplica pesó entre 1,5 y 2 g). Se hizo el secado de la muestra a 45 °C por 24 h, se colocó la muestra seca en la porta muestra de celulosa, se pesó el vaso vacío de extracción y colocó en el equipo con 50 mL del solvente (hexano). Se extrajo la muestra, de acuerdo con el programa establecido en el equipo (Equipo extractor de grasa). Finalmente, una vez terminada la extracción se pesó el vaso a temperatura ambiente con la grasa extraída. El cálculo se efectuó utilizando la siguiente fórmula:

### Fat Content Determination

Specimens were measured to the nearest 0.5 cm total length (TL) and assigned to six length classes: 8.0–10.0 cm, 10.5–11.5 cm, 12.0–12.5 cm, 13.0–14.0 cm, 14.5–16.0 cm, and >16.0 cm. Approximately ten individuals per size class were processed, depending on sample availability. Whole-body samples were homogenized, and three replicate subsamples (1.5–2.0 g) were obtained from each composite sample. Subsamples were dried at 45 °C for 24 h before lipid extraction with hexane using an automated extraction system. Total fat content was expressed as a percentage of dry weight according to BUITRÓN *et al.* (2011):

$$CG = (m_2 - m_1/m) * 100 \text{ (BUITRÓN } et al., 2011)$$

Donde:

m = peso de la muestra,

m<sub>1</sub> = peso del vaso vacío,

m<sub>2</sub> = peso del vaso con grasa.

### Calculo de Indicadores Reproductivos: IGS y FD

La condición reproductiva de la anchoveta fue determinada a partir de dos indicadores: i) el Índice gonadosomático (IGS) que permite conocer la actividad reproductiva y ii) la fracción desovante (FD) a nivel microscópico que es un indicador del proceso de desove propiamente dicho, es decir la expulsión de ovocitos y esperma al mar para su fertilización (BUITRON *et al.*, 2011).

$$IGS = (Pg/Pe)100 \quad \text{VAZZOLER (1982)}$$

Donde:

Pg= peso de la gónada

Pe= peso eviscerado

$$FD = \left( \frac{FPO_{(dia0+1)} + OH}{H_{tot}} \right) * 100 \quad \text{BUITRÓN } et al. (2011)$$

### Determinación de la composición de los ácidos grasos

Con las muestras molidas, se realizaron dos procedimientos: primero, se extrajeron los lípidos mediante el método de FOLCH *et al.* (1957) después, mediante un proceso de derivatización según el método de ICHIHARA y FUKUBAYASHI (2010) se convirtieron en metil ésteres de ácidos grasos (FAME), utilizando el estándar interno de tricosanoato de metilo. Posteriormente, se analizaron en un cromatógrafo de gases con detector de ionización de flama (GC-FID) Varian CP-3800.

### Análisis estadísticos

Para conocer la dispersión de la información, se realizó el análisis de la variabilidad del contenido graso, DHA y EPA utilizando boxplots. Además, se analizó la relación que existe entre el DHA y EPA con los principales indicadores reproductivos, fracción desovante (FD) e índice gonadoso-

$$FC = (m_2 - m_1/m) * 100$$

Where:

m = sample weight,

m<sub>1</sub> = weight of the empty extraction vessel,

m<sub>2</sub> = weight of the extraction vessel containing the recovered lipids.

### Reproductive Condition: GSI and SF

Reproductive condition was assessed using two complementary indicators: i) the gonadosomatic index (GSI), which reflects reproductive activity, and ii) the spawning fraction (SF), a microscopic indicator of active spawning that quantifies the proportion of females undergoing oocyte release and fertilization processes (BUITRON *et al.*, 2011).

$$GSI = (Gw/Ew)100 \quad \text{VAZZOLER (1982)}$$

Where:

Gw= gonad weight,

Ew= eviscerated body weight.

$$SF = \left( \frac{FPO_{(dia0+1)} + OH}{H_{tot}} \right) * 100 \quad \text{BUITRÓN } et al. (2011)$$

### Fatty Acid Analysis

Homogenized samples were processed using a two-step analytical procedure. Lipids were first extracted following the method described by FOLCH *et al.* (1957). Subsequently, fatty acids were converted into fatty acid methyl esters (FAMES) through derivatization according to ICHIHARA and FUKUBAYASHI (2010), using methyl tricosanoate as an internal standard. The resulting FAMES were analyzed using a Varian CP-3800 gas chromatograph equipped with a flame ionization detector (GC-FID).

### Statistical Analysis

Temporal variability in total fat content, EPA, and DHA was explored using boxplot analyses. Relationships between fatty acid composition and reproductive condition were evaluated using the spawning fraction (SF) and gonado-

mático (IGS), durante el periodo de estudio, siguiendo a BUITRÓN *et al.* (2011).

Los datos de EPA, C22:5n-3 y DHA fueron agrupados en tres periodos estacionales: abril-julio (AMJJ), agosto-noviembre (ASON) y diciembre-marzo (DEFM). Para cada periodo se calcularon estadísticos descriptivos (n, media, mediana, desviación estándar y asimetría) y se analizaron las distribuciones mediante histogramas y estimaciones de densidad por kernel. Las diferencias entre periodos se determinaron mediante la prueba de Kruskal-Wallis y las comparaciones por pares mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, utilizando un nivel de significancia de 0,05.

La relación entre los indicadores reproductivos (FD, CG e IGS) y los ácidos grasos EPA y DHA se evaluó mediante el coeficiente de correlación por rangos de Spearman ( $\rho$ ). Este método no paramétrico fue seleccionado debido al reducido número de observaciones mensuales ( $n = 12$ ) y a que no requiere asumir una distribución normal de los datos. La significancia estadística de las correlaciones se determinó mediante el valor de  $p$ , considerando significativas aquellas con  $p < 0,05$ .

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Ácidos grasos de anchoveta peruana

Los ácidos grasos (AG) encontrados en la anchoveta peruana, se registraron en la Tabla 2, en la que se observa que el ácido palmítico presenta valores que van de 5,16 % a 26,45 %, seguido del ácido oleico con valores de 2,02 % a 14,26 %. Los ácidos grasos con valores menores fueron el ácido alfa-linoleico y ácido eicosatetraenoico con 0,07 % a 0,71 % y 0,02 % a 0,66 %, respectivamente.

El DHA y el EPA tuvieron valores que fluctuaron de 8,47 % a 15,36 % y de 4,23 % a 13,91 %, respectivamente.

Asimismo, todos los ácidos grasos presentaron los valores máximos en los meses de abril a julio y de diciembre a marzo, los cuales disminuyeron en los meses de agosto a octubre (Fig. 1).

somatic index (GSI), following the approach of BUITRÓN *et al.* (2011).

Data for EPA, C22:5n-3, and DHA were grouped into three seasonal periods: April-July (AMJJ), August-November (ASON), and December-March (DJFM). For each period, descriptive statistics including sample size, mean, median, standard deviation, and skewness were calculated. Frequency distributions were examined through histograms and kernel density estimates. Differences among seasonal periods were evaluated using the Kruskal-Wallis test, while pairwise comparisons were performed using the Kolmogorov-Smirnov test. Statistical significance was assessed at  $\alpha = 0.05$ .

Relationships between reproductive indicators (GSI, SF, and FC) and fatty acid composition (EPA and DHA) were evaluated using Spearman's rank correlation coefficient ( $\rho$ ). This nonparametric approach was selected because of the limited number of monthly observations ( $n = 12$ ) and the absence of normality assumptions. Correlations were considered statistically significant when  $p < 0.05$ .

### 3. RESULTS

#### 3.1 Fatty Acid Profile of *Engraulis ringens*

The fatty acid composition of *E. ringens* varied substantially throughout the study period (Table 2). Palmitic acid was consistently the dominant fatty acid, representing 5.16–26.45 % of total fatty acids, followed by oleic acid, which ranged from 2.02 % to 14.26 %. In contrast,  $\alpha$ -linolenic acid and eicosatetraenoic acid occurred at comparatively low concentrations, ranging from 0.07 % to 0.71 % and from 0.02 % to 0.66 %, respectively.

Among the essential omega-3 fatty acids, DHA (22:6n-3) ranged from 8.47 to 15.36 %, whereas EPA (20:5n-3) varied between 4.23 and 13.91 %.

All fatty acids exhibited a pronounced seasonal signal characterized by elevated concentrations during April-July and December-March, and reduced concentrations during August-October (Fig. 1).

Tabla 2.- Valores de ácidos grasos (%) de anchoveta peruana *Engraulis ringens* de la zona de Callao durante el periodo abril 2018 a marzo 2019

Table 2. Fatty acid composition (%) of *E. ringens* collected from the Callao region over the period April 2018–March 2019

Año	Meses	ácido mirístico C14:0	ácido palmítico C16:0	ácido palmítico C16:1n-7	ácido esteárico C18:0	ácido oleico C18:1n-9	ácido vaccénico C18:1n-7	ácido linoleico C18:2n-6	ácido aráquico C18:3n-6	ácido alfa linoleico C18:3n-3	ácido eicosaedónico C18:4n-3	ácido araquidónico C20:4n-6	ácido eicosatetraenoico C20:4n-3	ácido docosapentaenoico C22:5n-3	Ácido Docosahexaenoico (DHA) C 22:6n-3	Ácido Eicosapentaenoico (EPA) C 20:5n-3
2018	Abr	9.45	25.42	10.77	5.90	13.62	4.85	1.53	0.17	0.71	2.36	0.97	0.66	1.93	15.36	13.04
	May	10.98	26.43	11.81	6.06	14.26	4.85	1.33	0.00	0.59	1.85	0.62	0.51	1.26	8.47	9.56
	Jun	10.20	21.07	8.80	5.09	10.96	3.70	1.18	0.00	0.49	1.80	0.62	0.48	1.36	12.13	10.76
	Jul	10.46	26.45	11.19	6.04	14.13	4.56	1.31	0.00	0.65	2.17	0.46	0.49	1.22	10.78	9.89
	Ago	9.55	17.29	6.63	4.25	7.51	3.24	1.00	0.30	0.64	1.64	0.63	0.52	1.36	10.60	9.86
	Set	7.41	8.16	2.24	2.15	3.05	1.53	0.45	0.03	0.27	0.49	0.32	0.09	0.57	9.97	5.43
	Oct	5.99	5.16	1.21	1.65	2.02	0.94	0.51	0.00	0.07	0.21	0.20	0.02	0.46	8.76	4.23
	Nov	8.64	12.17	3.35	3.21	4.52	2.03	0.81	0.05	0.48	0.86	0.46	0.34	0.99	13.62	7.84
	Dic	9.24	13.98	4.50	3.70	5.56	2.43	0.99	0.19	0.64	1.40	0.50	0.44	1.22	12.74	8.64
	Ene	9.72	15.37	6.02	4.01	5.35	2.58	1.05	0.26	0.63	1.57	0.57	0.49	1.49	13.90	11.18
	2019	Feb	10.65	18.53	8.84	4.59	6.97	3.36	1.06	0.37	0.58	1.49	1.05	0.55	1.94	12.93
Mar	11.56	15.03	7.63	3.53	5.57	2.60	0.81	0.20	0.41	1.03	0.64	0.37	1.15	8.48	10.08	

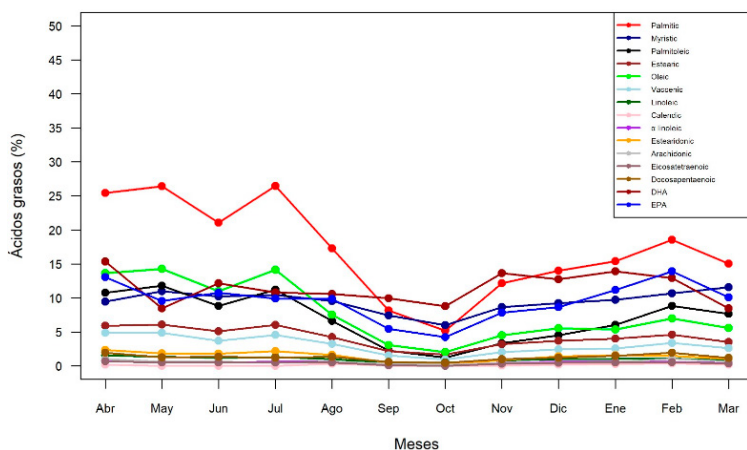


Figura 1.- Ácidos grasos de anchoveta peruana *Engraulis ringens* de la zona de Callao, abril 2018 - marzo 2019

Figure 1. Fatty acid composition of *E. ringens* from the Callao region, April 2018–March 2019

### 3.2 Boxplot: análisis del contenido graso (CG), DHA y EPA

Al realizar el análisis del contenido graso (CG) la mayor mediana se registró en mayo (7,91 %) y la menor en octubre (0,71 %). Los valores máximos y mínimos se registraron en esos mismos meses, con 10,89 % y 0,71 %, respectivamente (Fig. 2).

Para el caso del DHA la menor mediana se encontró con un valor de 4,58 % en octubre y la mayor mediana fue en abril (14,62 %). El valor máximo se encontró en enero con 22,59 % y el mínimo en octubre con 2,98 % (Fig. 3).

### 3.2 Boxplot: Fat Content (FC), DHA, and EPA Analysis

Total fat content (FC) reached its highest median value in May (7.91 %), while the lowest median was observed in October (0.71 %). The maximum and minimum individual values were also recorded during these months, reaching 10.89 % and 0.71 %, respectively (Fig. 2).

DHA concentrations followed a similar seasonal pattern. The highest median value was recorded in April (14.62 %), whereas the lowest median occurred in October (4.58 %). The overall maximum concentration was observed in January (22.59 %), while the minimum was recorded in October (2.98 %) (Fig. 3).

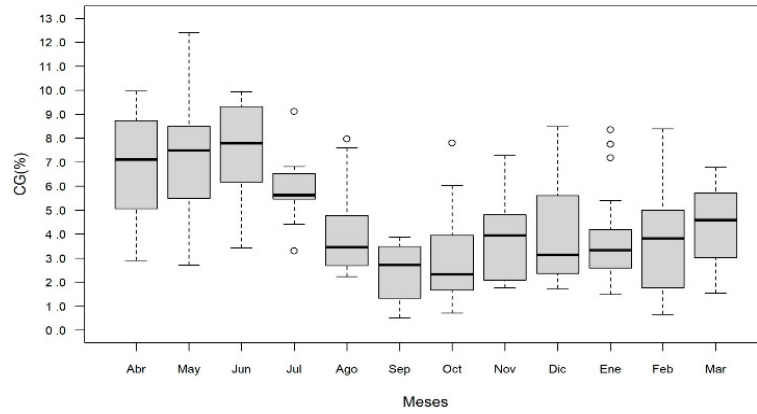


Figura 2.- Boxplot de contenido graso (CG) de anchoveta peruana *Engraulis ringens* de la zona de Callao, abril 2018 - marzo 2019

Figure 2. Boxplot depicting fat content (FC) in *E. ringens* sampled from the Callao area between April 2018 and March 2019

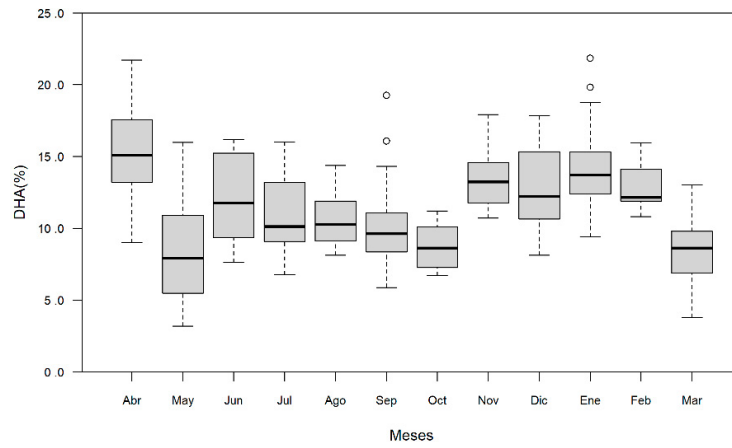


Figura 3.- Boxplot de DHA de anchoveta peruana *Engraulis ringens* de la zona de Callao, abril 2018 - marzo 2019

Figure 3. Boxplot showing DHA levels in *E. ringens* collected from the Callao region over the period April 2018–March 2019

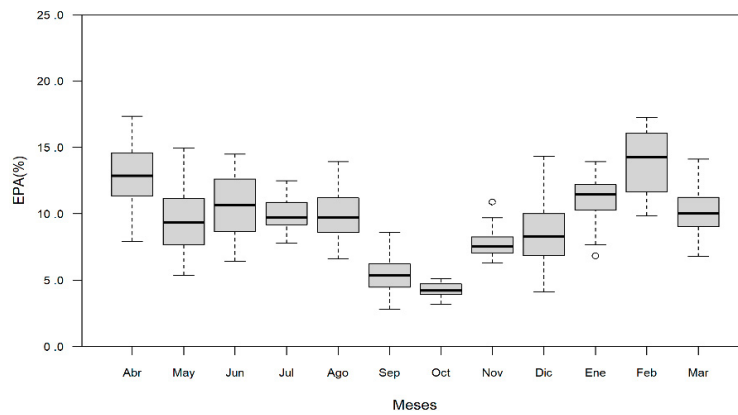


Figura 4.- Boxplot de EPA de anchoveta peruana *Engraulis ringens* de la zona de Callao, abril 2018 - marzo 2019

Figure 4. Boxplot showing EPA levels in *E. ringens* collected from the Callao region over the period April 2018–March 2019

En el EPA, la menor mediana se registró en octubre (2,03 %) mientras que la mayor correspondió a abril (12,91 %). De igual forma, el valor máximo se observó en abril (19,26 %) y el mínimo en septiembre (1,21 %) (Fig. 4).

### 3.3 Análisis de Contenido graso

El contenido graso de la anchoveta peruana alcanzó sus valores más altos entre abril y julio, fluctuando entre 5,3 % y 8,2 %. Por el contrario, los valores más bajos se registraron en septiembre y octubre, coincidiendo con su importante periodo de reproducción (Fig. 5).

### 3.4 DHA y EPA de anchoveta peruana

Los valores de ácidos grasos de DHA y EPA presentaron la misma tendencia que el contenido graso (CG), sin embargo, el EPA presentó valores ligeramente mayores que el DHA, alcanzando su valor máximo en febrero 2019 (Fig. 6).

EPA exhibited even greater seasonal variability. The highest median concentration occurred in April (12.91 %), while the lowest was recorded in October (2.03 %). Individual EPA values ranged from a maximum of 19.26 % in April to a minimum of 1.21 % in September (Fig. 4).

### 3.3 Fat Content Analysis

Total FC displayed a clear annual cycle, with elevated values between April and July (5.3–8.2 %) followed by a marked decline during September and October. The seasonal depletion of lipid reserves coincided with the period of greatest reproductive activity (Fig. 5).

### 3.4 DHA and EPA Content in *E. ringens*

The temporal trajectories of EPA and DHA closely mirrored those observed for total FC. Although their overall patterns were similar, EPA generally occurred at slightly higher concentrations than DHA and reached its maximum value in February 2019 (Fig. 6).

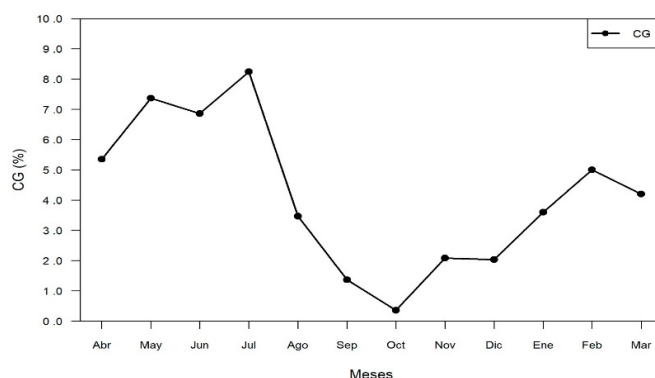


Figura 5.- Contenido graso de anchoveta peruana *Engraulis ringens* de la zona de Callao, abril 2018 - marzo 2019

Figure 5. Total fat content in *E. ringens* sampled from the Callao area between April 2018 and March 2019

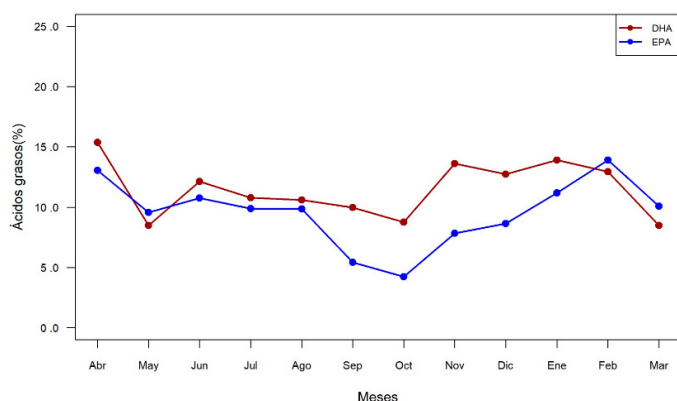


Figura 6.- DHA y EPA (metodología Folch) de anchoveta peruana *Engraulis ringens* de la zona de Callao, abril 2018 - marzo 2019

Figure 6. DHA and EPA (Folch methodology) in *E. ringens* from the Callao zone, April 2018 to March 2019

### 3.5 Índice gonadosomático (IGS), DHA y EPA de anchoveta peruana

Los valores mayores del índice gonadosomático se observaron en agosto, septiembre y octubre, fluctuando entre 5,7 y 6,2, descendiendo en noviembre y diciembre (Fig. 7). Los valores del EPA y del DHA guardaron una relación inversa con los valores del IGS.

### 3.6 Fracción desovante (FD), DHA y EPA

La fracción desovante presentó sus mayores valores en setiembre y octubre con valores de 32,7 % y 26,6 %, respectivamente. Así mismo, se observó que los menores valores de DHA y EPA ocurrieron octubre. Los valores de DHA y EPA durante este periodo de estudio guardaron una relación inversa con la FD (Fig. 8).

### 3.5 Gonadosomatic Index (GSI), DHA, and EPA Content in *E. ringens*

The highest gonadosomatic index (GSI) values were observed in August, September and October, fluctuating between 5.7 and 6.2, before falling in November and December (Fig. 7). EPA and DHA levels were inversely correlated with GSI values.

### 3.6 Spawning Fraction (SF), DHA, and EPA

Spawning fraction (SF) peaked during September (32.7 %) and October (26.6 %). Notably, the lowest EPA and DHA concentrations occurred in October. DHA and EPA concentrations during the study period exhibited a negative correlation with SF (Fig. 8).

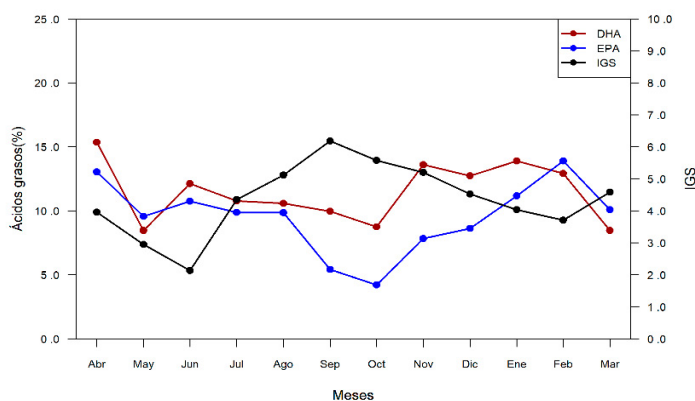


Figura 7.- Índice gonadosomático, DHA y EPA de anchoveta peruana *Engraulis ringens* de la zona de Callao, abril 2018 - marzo 2019

Figure 7. Gonadosomatic index, DHA, and EPA levels in *E. ringens* collected from the Callao region over the period April 2018–March 2019

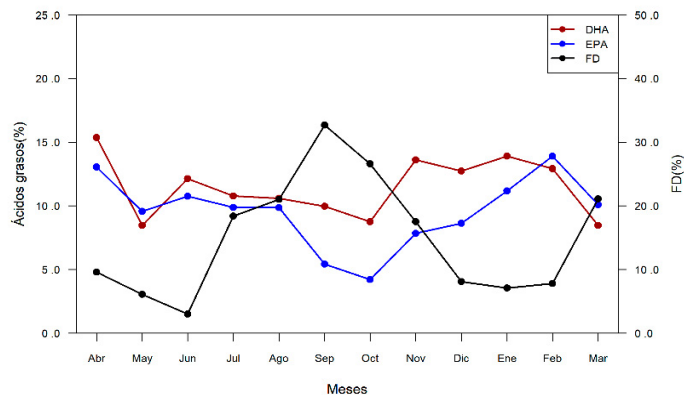


Figura 8.- Fracción desovante (FD), DHA y EPA de anchoveta peruana *Engraulis ringens* de la zona de Callao, abril 2018 - marzo 2019

Figure 8. Spawning fraction (SF), DHA, and EPA content of *Engraulis ringens* from the Callao zone, April 2018 to March 2019

### 3.7 Variabilidad estacional

Los dos ácidos grasos mostraron variabilidad estacional significativa (Tabla 3, Fig. 8). EPA presentó una disminución marcada en ASON (media = 7,28 %) respecto a AMJJ (media = 11,01 %) y DEFM (media = 10,72 %), mientras que el DHA presentó variaciones más moderadas entre periodos (Tabla 3, Fig. 8). En términos de forma de distribución, EPA mostró baja asimetría ( $|skew| < 0,4$ ) y DHA exhibió distribuciones casi simétricas, excepto durante ASON, cuando se observó una asimetría positiva moderada ( $skew = 0,88$ ).

### 3.8 Diferencias estadísticas entre periodos

La prueba de Kruskal–Wallis evidenció diferencias significativas entre periodos para las tres variables ( $p < 0,001$ ) indicando un fuerte **patrón estacional** (Tabla 4, Fig. 9). Las comparaciones por pares, en base a la prueba de Kolmogorov–Smirnov, mostraron que EPA difiere principalmente en ASON, sin diferencias entre AMJJ y DEFM ( $p = 0,85$ ) mientras que, DHA muestra diferencias intermedias pero significativas en todos los casos.

### 3.7 Seasonal Variability of EPA and DHA

Both fatty acids exhibited significant seasonal variability (Table 3, Fig. 8). EPA showed the strongest seasonal signal, with substantially lower concentrations during August–November (ASON; mean = 7.28 %) compared with April–July (AMJJ; mean = 11.01 %) and December–March (DJFM; mean = 10.72 %). In contrast, DHA showed more moderate fluctuations among seasons (Table 3, Fig. 8). Distributional analyses indicated relatively low skewness for EPA ( $|skew| < 0.4$ ), whereas DHA distributions were generally symmetrical except during ASON, when a moderate positive skewness (0.88) was observed.

### 3.8 Statistical Comparisons Among Periods

The Kruskal–Wallis test detected significant seasonal differences for all variables analyzed ( $p < 0.001$ ), confirming the existence of a strong **seasonal pattern** (Table 4, Fig. 9). Pairwise Kolmogorov–Smirnov tests indicated that EPA differed primarily during the ASON period, whereas no significant differences were detected between AMJJ and DJFM ( $p = 0.85$ ). In contrast, DHA showed significant differences among all seasonal periods.

Tabla 3.- Estadísticos descriptivos de EPA y DHA para los tres periodos estacionales (AMJJ, ASON y DEFM)

Table 3. Descriptive statistics of EPA and DHA concentrations for each of the three seasonal periods (AMJJ, ASON, and DJFM)

Variable	Periodo	n	Media	Mediana	Std	Skew
EPA	AMJJ	137	11,01	10,88	2,58	0,26
EPA	ASON	120	7,28	7,21	2,53	0,36
EPA	DEFM	114	10,72	10,71	2,59	-0,06
DHA	AMJJ	137	11,78	11,67	4,24	0,07
DHA	ASON	120	11,01	10,61	2,82	0,88
DHA	DEFM	114	12,59	12,68	3,31	-0,01

Tabla 4.- Comparaciones estadísticas entre periodos para EPA y DHA mediante pruebas de Kruskal–Wallis (KW) y Kolmogorov–Smirnov (KS)

Table 4. Inter-period statistical comparisons for EPA and DHA conducted via Kruskal–Wallis (KW) and Kolmogorov–Smirnov (KS) tests

Variable	KW p-value	KS p-value		
		AMJJ vs ASON	AMJJ vs DEFM	ASON vs DEFM
EPA	<0,001	<0,001	0,85	<0,001
DHA	<0,001	0,003	0,021	<0,001

Las correlaciones de Spearman revelaron relaciones significativas entre EPA y los indicadores reproductivos (Tabla 5). EPA se correlacionó negativamente con FD ( $\rho = -0,65$ ,  $p = 0,021$ ) e IGS ( $\rho = -0,73$ ,  $p = 0,007$ ), y positivamente con CG ( $\rho = 0,64$ ,  $p = 0,024$ ). En contraste, DHA no mostró correlaciones significativas con ninguno de los indicadores evaluados ( $p > 0,05$ ).

Spearman correlation analyses identified significant relationships between EPA and reproductive indicators (Table 5). EPA was negatively correlated with SF ( $\rho = -0.65$ ,  $p = 0.021$ ) and GSI ( $\rho = -0.73$ ,  $p = 0.007$ ), while exhibiting a positive association with FC ( $\rho = 0.64$ ,  $p = 0.024$ ). No significant correlations were detected between DHA and any of the reproductive indicators evaluated ( $p > 0.05$ ).

Tabla 5.- Correlaciones de Spearman ( $\rho$ ) entre los indicadores reproductivos y los ácidos grasos (\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ )

Table 5. Spearman rank correlations ( $\rho$ ) between reproductive indices and fatty acid content (\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ )

Variable	FD	CG	IGS
EPA	-0,65*	0,64*	-0,73**
DHA	-0,35	0,04	-0,24

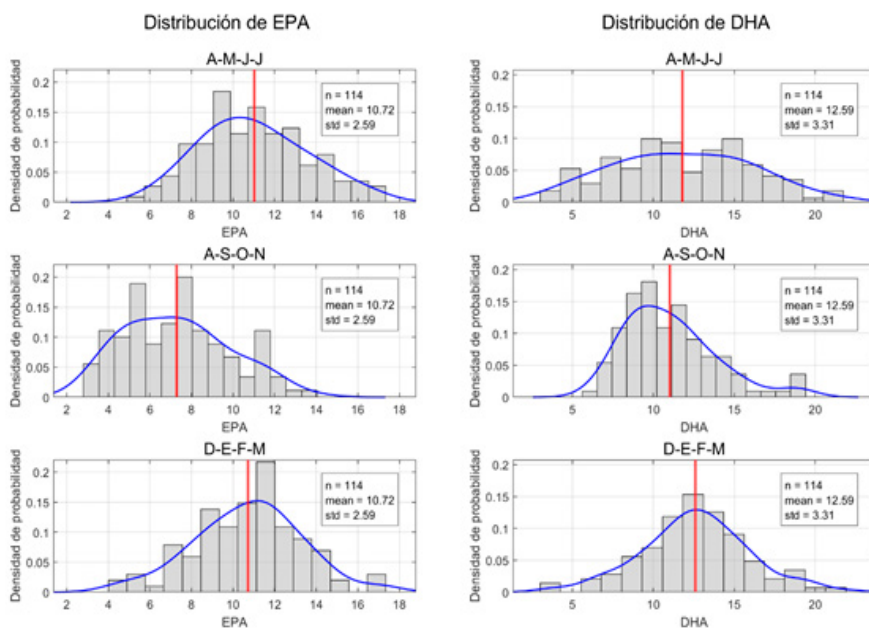


Figura 9.- Distribución (barras grises), densidad de probabilidad (línea azul) y media (línea roja) de EPA, C22:5n-3 y DHA para los tres periodos estacionales (AMJJ, ASON y DEFM)

Figure 9. Frequency distribution (gray bars), probability density function (blue line), and mean (red line) for EPA, C22:5n-3, and DHA, shown for each of the three seasonal periods (AMJJ, ASON, and DJFM)

#### 4. DISCUSIÓN

El Perú cuenta con una vasta información sobre la biología y la pesquería de la anchoveta peruana, la determinación de los ácidos grasos y su relación con los indicadores reproductivos permitirá contribuir en conocer cómo se comporta la especie a lo largo de su ciclo de vida.

#### 4. DISCUSSION

Peru holds a wealth of information regarding the biology and fisheries of *Engraulis ringens*. The assessment of fatty acid composition and its correlation with reproductive parameters will further our understanding of the species' dynamics throughout its life cycle.

El contenido lipídico y el perfil de ácidos grasos de los peces presenta variaciones intraespecíficas e interespecíficas, dependientes de factores como temperatura, salinidad, zona de captura, estación del año, alimento, tamaño, edad y etapa del ciclo de vida (ÖZOGUL *et al.*, 2009). JORDÁN y CHIRINOS DE VILDOSO (1965) indicaron que la anchoveta peruana presenta un ciclo de vida muy corto, antes de llegar al año de edad ya puede reproducirse y su longevidad no sobrepasa los tres años. En ese sentido, HALVER (1980) indicó que el ciclo de vida de los peces determina tanto su composición lipídica como la reproducción, los que deben incorporar ácidos grasos esenciales al embrión, variando según la especie. En el presente estudio, para la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*) en la zona del Callao, se observó que el ácido palmítico, ácido graso saturado, presentó sus menores valores en los meses de setiembre y octubre, siendo esos meses en los que esta especie desova con mayor intensidad (con valores más altos de fracción desovante).

Por su parte, HUYNH *et al.* (2007) indicaron que el ácido palmítico es reconocido como una fuente de energía metabólica durante el crecimiento y formación de los ovocitos en los peces. Esta característica es similar a la encontrada por CASTRO GONZÁLEZ *et al.* (2013) en especies del Golfo de México, quienes mencionan que los peces necesitan mantener la fluidez de sus membranas celulares, especialmente si viven en aguas frías. El ácido palmítico, al ser una grasa saturada “rígida”, se utiliza en proporciones específicas para equilibrar la flexibilidad que aportan los famosos Omega-3 (como el EPA y DHA). Sin esta base de ácido palmítico, las membranas serían demasiado inestables.

SARGENT *et al.* (1993) indicaron que, en los peces los lípidos son la principal fuente de energía para su crecimiento, especialmente durante el desarrollo embrionario; además de ser esenciales para su desarrollo neural, por lo que es común que en su cerebro y retina se encuentren altas concentraciones de ácido docosahexaenoico (DHA) y ácido eicosapentaenoico (EPA). Se observó que el DHA presenta mayores valores que el EPA durante el periodo de estudio en muestras del Callao, a diferencia de lo registrado por IMARPE e ITP (1996) que indica el registro de concentraciones de EPA (18,7) mayor a las de DHA (1.1), sin especificar la

FC and fatty acid composition in fish vary both within and among species in response to environmental and biological factors, including temperature, salinity, geographic location, season, diet, body size, age, and life-history stage (ÖZOGUL *et al.*, 2009). According to JORDÁN and CHIRINOS DE VILDOSO (1965), *E. ringens* is characterized by a short life span, reaching sexual maturity before one year of age and rarely exceeding three years of longevity. In marine fishes, life-history traits strongly influence both lipid dynamics and reproductive processes because essential fatty acids must be transferred to developing embryos, with species-specific patterns of allocation (HALVER, 1980). In this study on *E. ringens* from Callao, palmitic acid—a saturated fatty acid—displayed minimum values in September and October, months when this species shows its highest spawning activity (reflected in elevated spawning fraction values).

Similar findings have been reported in other marine fishes, where saturated fatty acids are mobilized as metabolic energy sources during gonadal development and oocyte formation (HUYNH *et al.*, 2007). This characteristic parallels the observations of CASTRO GONZÁLEZ *et al.* (2013) in Gulf of Mexico species, who indicated that fish require maintenance of cell membrane fluidity, especially under cold-water conditions. Palmitic acid—a saturated fatty acid with rigid properties—is utilized in specific proportions to balance the flexibility conferred by Omega-3 fatty acids such as EPA and DHA. Without this palmitic acid framework, membranes would become overly labile.

SARGENT *et al.* (1993) established that lipids constitute the principal energy reserve for fish growth, particularly during embryogenesis, and are indispensable for neural development, accounting for the elevated concentrations of docosahexaenoic acid (DHA) and eicosapentaenoic acid (EPA) typically found in the brain and retina. In the present investigation, DHA values exceeded those of EPA throughout the sampling period in the Callao area, in contrast to the findings of IMARPE and ITP (1996), which reported higher EPA (18.7) than DHA (1.1), without specifying the geographic origin of the samples. The observed variability in the concentrations of

procedencia de la muestra. La variabilidad de las concentraciones de estos dos ácidos grasos varía espacial y temporalmente debido a la disponibilidad alimentaria que encuentre la anchoveta; IVERSON (2009) menciona que las diatomeas son ricas en EPA mientras que muchos dinoflagelados presentan mayores proporciones de DHA, aspecto que ayudaría en la interpretación de los cambios observados.

La actividad reproductiva de la anchoveta se realiza durante todo el año en la costa peruana, principalmente en las estaciones de invierno-primavera y durante el verano, que es cuando alcanzan los picos principal y secundario de desove, respectivamente (BUITRÓN & PEREA, 2000). Es así, que tanto el DHA como el EPA, durante el periodo de estudio presentan su menor valor en octubre; cuando los indicadores reproductivos, como el índice gonadosomático y la fracción desovante, indican que el recurso se encontró en un momento importante de reproducción. En este sentido, la variabilidad en los indicadores reproductivos no solo responde a procesos fisiológicos internos, sino también a cambios en la oferta trófica y condiciones oceanográficas. Este comportamiento ha sido documentado en estudios sobre la dinámica reproductiva de la anchoveta en el sistema de afloramiento peruano (MORI *et al.*, 2011).

Los resultados estadísticos estacionales evidencian una clara señal estacional en la composición de ácidos grasos. EPA presenta un patrón de dos estados, con un mínimo en ASON (agosto-noviembre). C22:5n-3 muestra la mayor sensibilidad estacional, con diferencias consistentes entre todos los periodos. DHA exhibe variabilidad más moderada pero significativa. En conjunto, los resultados indican que la estacionalidad afecta tanto la magnitud como la estructura estadística de los tres compuestos, reflejando respuestas diferenciadas entre ácidos grasos.

Los resultados sugieren que EPA está estrechamente relacionado con la variabilidad reproductiva; mientras que DHA no presentó asociaciones estadísticamente significativas. La relación negativa entre EPA respecto a la fracción desovante FD y el IGS, y la correlación positiva con CG, indica que los cambios estacionales en EPA podrían estar asociados a modificaciones en la condición fisiológica y reproductiva de los individuos.

these two fatty acids is influenced by spatial and temporal differences in prey availability for *E. ringens*. IVERSON (2009) pointed out that diatoms are enriched in EPA, while many dinoflagellates exhibit higher DHA proportions—a distinction that facilitates interpretation of the observed fluctuations.

Reproductive activity in *E. ringens* occurs throughout the year along the Peruvian coast, with major and secondary spawning peaks generally occurring during winter–spring and summer, respectively (BUITRÓN & PEREA, 2000). Consequently, both DHA and EPA recorded their lowest values in October during the study interval, coinciding with reproductive parameters—namely the gonadosomatic index and spawning fraction—suggesting that the population was engaged in a period of heightened reproductive activity. In this context, the observed variability in reproductive indicators reflects not only intrinsic physiological mechanisms but also shifts in trophic availability and environmental conditions. Such patterns have been previously described in studies examining the reproductive ecology of *E. ringens* within the Peruvian upwelling ecosystem (MORI *et al.*, 2011).

Seasonal analyses revealed a pronounced temporal signal in fatty acid composition. EPA exhibited a distinct two-phase pattern, with minimum concentrations during the August–November period. In contrast, C22:5n-3 displayed the strongest seasonal response, showing significant differences among all seasonal groups. DHA displays comparatively moderate but statistically significant variation. Collectively, these results demonstrate that seasonality impacts both the magnitude and the underlying statistical structure of the three compounds, indicating differential responses across fatty acid types.

The results imply that EPA is closely linked to reproductive variation, whereas DHA did not display statistically significant associations. The inverse relationship between EPA and both spawning fraction (SF) and GSI, combined with its positive correlation with FC, points to the possibility that seasonal EPA dynamics are associated with modifications in the physiological and reproductive condition of the individuals.

## 5. CONCLUSIONES

El ácido palmítico fue el ácido graso predominante en la anchoveta (*Engraulis ringens*) durante el período de estudio. Asimismo, se registró una importante presencia de los ácidos grasos poliinsaturados EPA (ácido eicosapentaenoico) y DHA (ácido docosahexaenoico) reconocidos por su elevado valor nutricional y su relevancia en los procesos fisiológicos de la especie.

Los ácidos grasos EPA y DHA presentaron una marcada variabilidad estacional a lo largo del ciclo anual. Presentando sensibilidad a los cambios entre períodos, evidenciándose diferencias estadísticamente significativas en todos los casos, confirmando un control estacional sobre la composición de ácidos grasos de la anchoveta.

Los mayores valores de EPA y DHA se registraron durante el período de reposo reproductivo, mostrando una acumulación de reservas energéticas en etapas de menor actividad reproductiva.

El análisis de asociación mostró que EPA presentó relaciones significativas con los tres indicadores reproductivos evaluados, mientras que DHA no evidenció asociaciones estadísticamente significativas. Estos resultados indican que EPA constituye un mejor indicador de la variabilidad reproductiva observada durante el ciclo anual de la anchoveta.

En conjunto, los resultados demuestran que la composición de ácidos grasos de la anchoveta está influenciada por la estacionalidad y el estado reproductivo de la población, aportando información valiosa para comprender la dinámica biológica del recurso y contribuir a su manejo sostenible.

## 5. CONCLUSIONS

Palmitic acid was the dominant fatty acid in *Engraulis ringens* throughout the study period. A considerable proportion of the polyunsaturated fatty acids EPA (eicosapentaenoic acid) and DHA (docosahexaenoic acid) was also recorded, both of which are recognized for their high nutritional value and their functional relevance in the species' physiological processes.

EPA and DHA exhibited pronounced seasonal fluctuations over the annual cycle. Both fatty acids proved responsive to inter-period changes, with statistically significant differences detected across all comparisons, confirming a strong seasonal influence on the fatty acid composition of *E. ringens*.

The highest concentrations of EPA and DHA were observed during the reproductive resting phase, suggesting the accumulation of energy reserves during periods of reduced reproductive investment.

Correlation analyses revealed that EPA was significantly associated with all three reproductive indicators assessed, whereas DHA showed no statistically significant relationships. This differential pattern indicates that EPA serves as a more reliable proxy for reproductive variability throughout the annual cycle of *E. ringens*.

Collectively, these findings demonstrate that the fatty acid profile of *Engraulis ringens* is modulated by both seasonality and the reproductive condition of the population. This information enhances our understanding of the species' biological dynamics and provides a useful basis for its sustainable management.

## 6. REFERENCIAS

- AYALA GALDOS, M. E., ALBRECHT-RUIZ, M., SALAS MALDONADO, A. & PAREDES MINGA, J. (2002). Fat content of Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) after "El Niño" Phenomenon (1998-1999). *Journal of Food Composition and analysis*, 15, 627-631. <https://doi.org/10.1006/jfca.2002.1059>
- BECKLEY, L. E. & VAN DER LINGEN, C. D. (1999). Biology, fishery and management of sardines (*Sardinops sagax*) in southern African waters. *Mar. Freshwater Res.*, 50, 955-978. <https://doi.org/10.1071/MF99068>
- BOUCHON CORRALES, M. (2018). *La pesquería de anchoveta en Perú* [Tesis de Doctorado, Universidad de Alicante]. Repositorio Universidad de Alicante. <http://hdl.handle.net/10045/103709>
- BUITRÓN, B. & PEREA, A. (2000). Aspectos reproductivos de la anchoveta peruana durante el periodo 1992-2000. *Bol Inst Mar Perú*, 19(1-2), 45-53. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/996>
- BUITRÓN, B., PEREA, A., MORI, J., SÁNCHEZ, J. & ROQUE, C. (2011). Protocolo para estudios sobre el proceso reproductivo de peces pelágicos y demersales. *Inf Inst Mar Perú*, 38(4), 373-384. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/2172>

- CALDER, P. C. (2014). Marine omega-3 fatty acids and inflammatory processes: Effects, mechanisms and clinical relevance. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1851, 469-484. <https://doi.org/10.1016/j.bbali.2014.08.010>
- CASTRO GONZÁLEZ, M. I., MAAFS RODRÍGUEZ, A. G. & GALINDO GÓMEZ, C. (2013). Perfil de ácidos grasos de diversas especies de pescados consumidos en México. *Rev. Biol. Trop.*, 61(4), 1981-1998. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v61n4/a32v61n4.pdf>
- ESPINOZA, C., VERA, V., PEREA, Á., BUITRÓN, B., ROJAS, P. & KJESBU, O. S. (2009). Efecto de la ración alimenticia sobre la maduración gonadal y acumulación de grasa de anchoveta peruana (*Engraulis ringens* Jenyns, 1842) en cautiverio. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 37(2), 181-190. <https://doi.org/10.3856/vol37-issue2-fulltext-5>
- FOLCH, J., LEES, M. & SLOANE STANLEY, G. H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226, 497-509. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)64849-5)
- HALVER, J. E. (1980). *Fish Feed Technology* (ADCP/REP/80/11). United Nations Development Programmed, Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/4/x5738e/x5738e00.htm>
- HERRERA-CRUZ, J. P., CASTRO-ROJAS, M., CORNEJO, R., DELGADO-FLORES, H., MINAYA-AGÜERO, C. P., MARTÍNEZ-ALBÁN, P. A. & ZÚÑIGA-VARGAS, O. A. (2025). Benefits of Omega-3 in Peruvian anchoveta: a review of its impact on health. *Revista de Gestão Social e Ambiental - RGSA*, 19(1), e010808. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v19n1-057>
- HONG, J. W., LEE, S. H., MONIRUZZAMAN, M., PARK, Y., WON, S. H., JO, H., HUNG, S. S. & BAI, S. C. (2017). Dietary eicosapentaenoic acid requirement of juvenile rock bream, *Oplegnathus fasciatus*. *Aquaculture Nutrition*, 24(1), 36-46. <https://doi.org/10.1111/anu.12530>
- HUYNH, M. D., KITTS, D. D., HU, C. & TRITES, A. W. (2007). Comparison of fatty acid profiles of spawning and non-spawning Pacific herring, *Clupea harengus pallasii*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B*, 146, 504-511. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2006.11.023>
- ICHIHARA, K. & FUKUBAYASHI, Y. (2010). Preparation of fatty acid methyl esters for gas-liquid chromatography. *Journal of Lipid Research*, 51, 635-640. [https://www.jlr.org/article/S0022-2275\(20\)30521-6/fulltext](https://www.jlr.org/article/S0022-2275(20)30521-6/fulltext)
- INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ [IMARPE] & INSTITUTO TECNOLÓGICO PESQUERO DEL PERÚ [IITP]. (1996). *Compendio biológico tecnológico de las principales especies hidrobiológicas comerciales del Perú*. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/1387>
- IVERSON, S. J. (2009). Tracing aquatic food webs using fatty acids: from qualitative indicators to quantitative determination. En M. T. Arts, M. T. Brett & M. J. Kainz (Eds.), *Lipids in Aquatic Ecosystems* (Cap. 12, pp. 281-308). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-89366-2\\_12](https://doi.org/10.1007/978-0-387-89366-2_12)
- JORDÁN, R. & CHIRINOS DE VILDOSO, A. (1965). La anchoveta (*Engraulis ringens* J.) conocimiento actual sobre su biología, ecología y pesquería. *Inf Inst Mar Perú*, (6), 1-52. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/235>
- MARDONES, M., VALENZUELA, R., ROMANQUE, P., COVARRUBIAS, N., ANGHILERI, F., FERNÁNDEZ, V., VIDELA, L. A. & TAPIA, G. (2012). Prevention of liver ischemia reperfusion injury by a combined thyroid hormone and fish oil protocol. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 23, 1113-1120. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2011.06.004>
- MARIANE, L. (1998). La dieta como determinante del desarrollo del sistema nervioso central: rol de los ácidos grasos esenciales. *Arch. latinoam. Nutr.*, 48(1), 29-34.
- MORI, J., BUITRÓN, B., PEREA, A., PEÑA, C. & ESPINOZA, C. (2011). Interannual variability of the reproductive strategy of the Peruvian anchovy off northern-central Peru. *Ciencias Marinas*, 37(4B), 513-525. <https://doi.org/10.7773/cm.v37i4B.1872>
- ÖZOGUL, Y., ÖZOGUL, F., CÍCEK, E., POLAT, A. & KULEY, E. (2009). Fat content and fatty acid compositions of 34 marine water fish species from the Mediterranean Sea. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(6), 464-475. <https://doi.org/10.1080/09637480701838175>
- PLÁCIDO CÁRDENAS, M. (2006). Estimación del contenido proteico de "anchoveta peruana" (*Engraulis ringens*) utilizando los valores de humedad y grasa. *Bol. invest. Inst. tecnol. pesq.*, 7, 27-30. <https://hdl.handle.net/20.500.14523/634>
- SARGENT, J. R., BELL, J. G., BELL, M. V., HENDERSON, R. J. & TOCHER, D. R. (1993). The metabolism phospholipids and polyunsaturated fatty acids in fish. En B. Lahlou & P. Vitiello (Eds.), *Aquaculture: fundamental and applied research* (Cap. 7, pp. 103-124). American Geophysical Union. <https://doi.org/10.1029/CE043p0103>
- SARGENT, J. R., TOCHER, D. R. & BELL, J. G. (2002). The lipids. En J. E. Halver & R. W. Hardy (Eds.), *Fish Nutrition* (3<sup>a</sup> ed.). Academic Press.
- VAZZOLER, A. E. (1982). *Manual de métodos para estudos biológicos de populações de peixes: reprodução e crescimento*. CNP/PN2.
- WATANABE, T. (1993). Importance of docosahexaenoic acid in marine larval fish. *Journal of the World Aquaculture Society*, 24(2), 152-161. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1993.tb00004.x>

### Agradecimientos

Los autores expresan su profunda gratitud y reconocimiento a la memoria del investigador Blgo. Miguel Niquen Carranza, quien respaldó y aprobó la realización de la presente investigación sobre los ácidos grasos de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*), confiando en la importancia y el potencial científico de este trabajo desde sus etapas iniciales. Su visión, apoyo y compromiso con el presente trabajo contribuyeron de manera decisiva a que esta iniciativa pudiera desarrollarse y culminar en la presente publicación. Los autores honran su legado científico y agradecen la confianza depositada en este proyecto, cuyo resultado constituye también un reconocimiento a su permanente labor en favor de la investigación pesquera y marina del Perú.

*“Esperamos que esta publicación constituya un humilde homenaje a su memoria y al legado científico que dejó en la investigación pesquera peruana.”*

### Rol de los autores

**Cecilia Roque:** Conceptualización, desarrollo de la metodología de muestreo y análisis, investigación, análisis e interpretación de los resultados, redacción-revisión y corrección.

**Javier Castillo:** Conceptualización, desarrollo de la metodología de muestreo y análisis redacción-borrador original, análisis formal, investigación, revisión y corrección. **Leenin Ramos:** Desarrollo de la metodología de muestreo y análisis, investigación validación, redacción, curación de datos, redacción, revisión y corrección. **Anthony Ruiz:** Metodología de muestreo, investigación, análisis, validación y revisión. **Tony Anculle:** Investigación, análisis formal, metodología, validación, redacción y revisión.

#### **Declaración de conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener conflictos de intereses financieros ni personales que puedan influir en los resultados de esta investigación.

#### **Declaración de uso de Inteligencia Artificial**

Durante la preparación de esta investigación, se utilizó ChatGPT para verificar la gramática y la ortografía de la redacción. Después de utilizar esta herramienta, como autores editamos, revisamos y aprobamos el resultado final; asumiendo la total responsabilidad por el contenido de la publicación.

#### **Fuentes de financiamiento**

Esta investigación no recibió ninguna subvención específica de ninguna agencia de financiación, sector comercial o sin fines de lucro.