



# CONDICIÓN REPRODUCTIVA DEL CHORO *Aulacomya atra* (Molina, 1782) EN EL LITORAL DE MATARANI, REGIÓN AREQUIPA, 2024

## REPRODUCTIVE CONDITION OF *Aulacomya atra* (Molina, 1782) ALONG THE MATARANI COAST, AREQUIPA REGION, DURING 2024

Carmen Yauri<sup>1,\*</sup>  Sarita Campos-León<sup>1</sup>  Betsy Buitrón<sup>2</sup>   
Miguel Berrú<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Instituto del Mar del Perú, Laboratorio Costero de Camaná, Arequipa, Perú.

<sup>2</sup>Instituto del Mar del Perú, Callao, Perú.

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

Recibido: 21-10-2025, Aceptado: 29-04-2026, Publicado: 11/05/2026

### RESUMEN

Se investigó la condición reproductiva del “choro” *Aulacomya atra* en el litoral de Matarani (Arequipa) durante el periodo de marzo a noviembre 2024. Se realizó el análisis histológico de 523 gónadas, lo que permitió describir las fases de madurez gonadal, la actividad reproductiva, la fracción desovante y el factor de condición, así como su relación con variables ambientales como la temperatura superficial del mar (TSM) y el afloramiento costero. Mayores tallas se registraron en los individuos en fases madura y desovante, con mediana de 65-70 mm, sin diferencias marcadas entre sexos. El ciclo reproductivo fue estacional, caracterizado por un proceso de maduración durante el otoño, un desove principal entre agosto y octubre, y una fase de recuperación en noviembre. Las hembras alcanzaron fases avanzadas de madurez de forma precoz respecto a los machos, y exhibieron mayor variabilidad fisiológica durante los periodos de reposo y recuperación. La mayor fracción desovante coincidió con las TSM más bajas y con una mayor intensidad del afloramiento costero. Por su parte, el factor de condición se incrementó durante el periodo de mayor actividad reproductiva y disminuyó significativamente después del desove.

PALABRAS CLAVE: madurez sexual, desove, variables ambientales, manejo pesquero

### ABSTRACT

The reproductive condition of *Aulacomya atra* was evaluated along the Matarani coast (Arequipa) between March and November 2024. A total of 523 gonads were examined histologically, enabling the description of gonadal maturity stages, reproductive activity, spawning fraction, and condition factor, together with their relationship to environmental variables such as sea surface temperature (SST) and coastal upwelling intensity. Individuals in mature and spawning stages exhibited the largest shell sizes, with median values ranging from 65 to 70 mm, and no clear differences were detected between sexes. The reproductive cycle showed a marked seasonal pattern, characterized by gonadal maturation during autumn, a principal spawning period from August to October, and a recovery phase in November. Females reached advanced maturity stages earlier than males and displayed greater physiological variability during resting and recovery periods. The highest spawning fraction coincided with the lowest SST values and the strongest coastal upwelling conditions. Similarly, the condition factor increased during the period of maximum reproductive activity and declined markedly after spawning.

KEYWORDS: sexual maturity, spawning, environmental variables, fisheries management

## 1. INTRODUCCIÓN

La especie *Aulacomya atra* (Molina, 1782) es un molusco bivalvo perteneciente a la familia Mytilidae, conocido comúnmente como “choro” en el Perú y “cholga” en Chile. Se distribuye principalmente en ambientes someros, desde la zona intermareal hasta aproximadamente 40 m de profundidad, donde se adhiere a sustratos duros

## 1. INTRODUCTION

*Aulacomya atra* (Molina, 1782) is a bivalve mollusk belonging to the family Mytilidae. The species inhabits mainly shallow coastal environments, from the intertidal zone to depths of approximately 40 m, where it attaches to hard substrates through byssal threads. Its distribution includes both the

mediante filamentos bisoides. Su distribución geográfica abarca tanto el océano Pacífico como el Atlántico, extendiéndose a lo largo de la costa sudamericana desde el Perú hasta el sur de Chile y Argentina (GRIFFITHS, 1977; CANCINO & BECERRA, 1978; ALAMO & VALDIVIESO, 1997; GAMARRA & CORNEJO, 2002).

Desde el punto de vista ecológico, *A. atra* desempeña un rol relevante en las comunidades bentónicas marinas, actuando como un organismo filtrador dominante que se alimenta de partículas suspendidas y plancton, contribuyendo así a la regulación de la calidad del agua y al flujo de energía en los ecosistemas costeros. Asimismo, forma bancos densos que generan hábitats tridimensionales complejos, lo que le confiere un papel como organismo bioingeniero, al modificar la disponibilidad de espacio y recursos para otras especies asociadas (LAWTON, 1994; MONTERO *et al.*, 2021).

En el litoral sur de Perú, el choro constituye uno de los principales recursos bentónicos de importancia comercial. Su alta demanda en el mercado nacional ha generado un incremento significativo de los desembarques a partir del año 2010 (BALDARRAGO, 2019), registrándose principalmente en las regiones de Ica, Arequipa y Moquegua (MARÍN SOTO *et al.*, 2017).

El ciclo reproductivo de *A. atra* ha sido documentado en distintas áreas del Pacífico suroriental. En el norte de Chile, se ha descrito un patrón reproductivo estacional, con uno o más periodos de desove asociados a variaciones ambientales, particularmente a cambios en la temperatura del agua (AVENDAÑO & CANTILLÁNEZ, 2012). En el Perú, estudios realizados en la costa sur han reportado periodos de alta actividad reproductiva durante la primavera, evidenciándose una estrecha relación entre la maduración gonadal y el descenso de la temperatura superficial del mar, así como diferencias en la dinámica reproductiva entre hembras y machos, además de la presencia ocasional de hermafroditismo (INCIO PÉREZ, 2018).

En la región Arequipa, en el litoral de Matarani, los desembarques de choro durante el periodo 2000–2024 evidencian una tendencia general decreciente. Si bien entre 2004 y 2015 se registraron

Pacific and Atlantic oceans, extending along the South American coastline from Peru to southern Chile and Argentina (GRIFFITHS, 1977; CANCINO & BECERRA, 1978; ALAMO & VALDIVIESO, 1997; GAMARRA & CORNEJO, 2002).

Ecologically, *A. atra* is an important component of marine benthic communities. As a dominant suspension feeder, it filters plankton and particulate organic matter from the water column, thereby contributing to water-quality regulation and trophic energy transfer in coastal ecosystems. In addition, dense aggregations of this species generate complex three-dimensional habitats, functioning as an ecosystem engineer by modifying substrate availability and creating refuge and feeding space for associated organisms (LAWTON, 1994; MONTERO *et al.*, 2021).

Along the southern Peruvian coast, *A. atra* is among the most valuable benthic resources of commercial importance. Sustained domestic demand has promoted a substantial increase in landings since 2010 (BALDARRAGO, 2019), with the main extraction areas located in the regions of Ica, Arequipa, and Moquegua (MARÍN SOTO *et al.*, 2017).

The reproductive cycle of *A. atra* has been studied in different sectors of the southeastern Pacific. In northern Chile, the species exhibits a seasonal reproductive pattern, with one or more spawning events linked to environmental variability, particularly changes in seawater temperature (AVENDAÑO & CANTILLÁNEZ, 2012). In Peru, studies from the southern coast have reported peaks of reproductive activity during spring, revealing a close association between gonadal maturation and reduced sea surface temperature, as well as differences in reproductive dynamics between females and males and occasional cases of hermaphroditism (INCIO PÉREZ, 2018).

In the Arequipa region, landings of *A. atra* from the Matarani coast during 2000–2024 reveal an overall declining trend. Although the highest extraction volumes occurred between 2004 and 2015, reaching a historical maximum of 1,246 t in 2006, catches declined steadily after 2016, dropping below 300 t in 2017 and

los mayores volúmenes de extracción, alcanzando un máximo histórico de 1.246 toneladas en 2006, a partir de 2016 los desembarques disminuyeron de manera sostenida, registrándose menos de 300 toneladas en 2017 y valores inferiores a las 100 toneladas anuales desde 2019, hasta alcanzar un mínimo histórico en 2024 (29 toneladas). Esta reducción podría estar asociada a una disminución del stock reproductivo, alteraciones en los procesos de reclutamiento o a una combinación de factores ambientales y pesqueros, lo que resalta la necesidad de profundizar en estudios biológicos y reproductivos que permitan evaluar con mayor precisión el estado poblacional del recurso (Fig. 1).

En este contexto, el Ministerio de la Producción estableció una veda reproductiva para el recurso choro entre el 8 de septiembre y el 30 de noviembre de 2024 en el litoral peruano (R.M. N° 361-2024-PRODUCE) como una medida orientada a la protección de la biomasa reproductora. No obstante, la efectividad de este tipo de medidas depende de que su periodo de aplicación coincida con el pico real de actividad reproductiva de la población local. Estudios previos han señalado que la extracción durante el desove puede afectar negativamente la cantidad y calidad de los gametos producidos, con consecuencias sobre el reclutamiento y la estructura poblacional futura (VAN OVERZEE & RIJNSDORP, 2015). De manera complementaria, recientes restricciones aplicadas en las regiones de Moquegua y Tacna (R.M. N° 002-2026-PRODUCE) reflejan la necesidad de reforzar estrategias de manejo ante evidencias de biomasa reducida y elevada presión pesquera.

Por ello, resulta fundamental reforzar el monitoreo biológico y pesquero del choro en el litoral peruano, especialmente en regiones como Arequipa, Moquegua y Tacna, donde se han evidenciado señales de sobreexplotación y una disminución sostenida en los niveles de extracción. Asimismo, el análisis integrado de su ciclo reproductivo en conjunto con las condiciones oceanográficas, permitirá comprender con mayor precisión su dinámica poblacional, así como detectar posibles variaciones estacionales en sus patrones reproductivos. Esto contribuirá a la formulación de medidas de manejo más efectivas y sostenibles, sustentadas en evidencia científica.

remaining under 100 t annually from 2019 onward, until reaching a historical minimum of 29 t in 2024. This decline may be associated with reduced spawning biomass, impaired recruitment processes, or the combined effects of environmental variability and fishing pressure, underscoring the need for further biological and reproductive studies to more accurately evaluate the population status of the species (Fig. 1).

In response to this scenario, the Peruvian Ministry of Production established a reproductive closure for *A. atra* from 8 September to 30 November 2024 along the Peruvian coast (R.M. No. 361-2024-PRODUCE), with the objective of protecting spawning biomass. However, the effectiveness of such measures depends on whether the closure period coincides with the actual reproductive peak of the local population. Previous studies have shown that harvesting during spawning can reduce both the quantity and quality of gametes released, with negative consequences for subsequent recruitment and future population structure (VAN OVERZEE & RIJNSDORP, 2015). Additional restrictions recently implemented in the regions of Moquegua and Tacna (R.M. No. 002-2026-PRODUCE) further highlight the need to strengthen management actions in response to declining biomass and elevated fishing pressure.

Accordingly, strengthening biological and fisheries monitoring of *A. atra* along the Peruvian coast is essential, particularly in regions such as Arequipa, Moquegua, and Tacna, where persistent signs of overexploitation and declining extraction levels have been reported. Likewise, integrating reproductive studies with oceanographic analyses will improve understanding of the species' population dynamics and help identify possible seasonal shifts in reproductive patterns. Such information is fundamental for designing more effective and sustainable management strategies supported by scientific evidence.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron 523 individuos de choro. Estos especímenes fueron recolectados en cuatro zonas de pesca como son: El Faro (17°01'08,84"S – 72°06'39,24"O), La Metalera (17°00'44,65"S – 72°05'27,00"O), Dos Playas (17°00'50,75"S – 72°04'58,21"O) y Colocas (16°57'20,08"S – 72°09'11,18"O) frente a Puerto Matarani, distrito de Islay, Región Arequipa (Fig. 2).

La recolección se realizó durante un periodo no consecutivo, comprendiendo los meses de marzo, abril, mayo, junio, agosto, septiembre, octubre y noviembre de 2024. Los meses de diciembre, enero y febrero no fueron incluidos debido a la baja disponibilidad del recurso en los desembarques comerciales durante ese periodo, lo cual se evidencia en la tendencia de la pesquería (Fig. 1). El número de individuos recolectados por mes, sexo y rango de longitud se presenta en la Tabla 2.

## 2. MATERIALS AND METHODS

A total of 523 specimens of *Aulacomya atra* were examined. Individuals were collected from four fishing grounds located off Puerto Matarani, Islay District, Arequipa Region: El Faro (17°01'08.84"S, 72°06'39.24"W), La Metalera (17°00'44.65"S, 72°05'27.00"W), Dos Playas (17°00'50.75"S, 72°04'58.21"W), and Colocas (16°57'20.08"S, 72°09'11.18"W) (Fig. 2).

Sampling was carried out during a non-continuous period encompassing March, April, May, June, August, September, October, and November 2024. December, January, and February were not included because of the low availability of *A. atra* in commercial landings during those months, as reflected in fishery trends (Fig. 1). The number of specimens collected by month, sex, and size range is shown in Table 2.

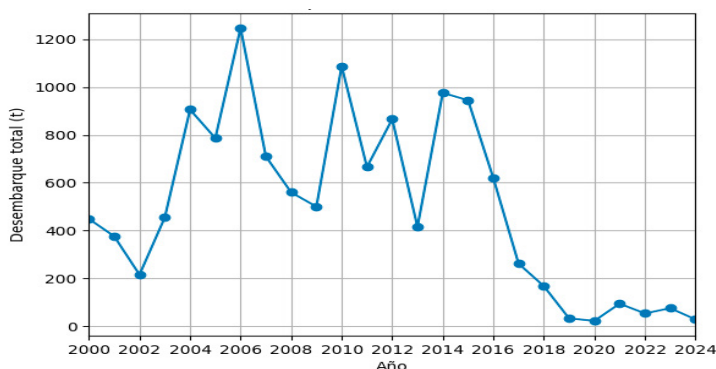


Figura 1.- Desembarque anual de choro *A. atra*, en las costas de la región Arequipa (litoral sur del Perú) periodo 2000-2024. Fuente: Instituto del Mar del Perú (IMARPE-Camaná)

Figure 1. Annual landings of *A. atra* along the coast of the Arequipa Region (southern Peru) for the period 2000–2024. Source: Instituto del Mar del Perú (IMARPE-Camaná)

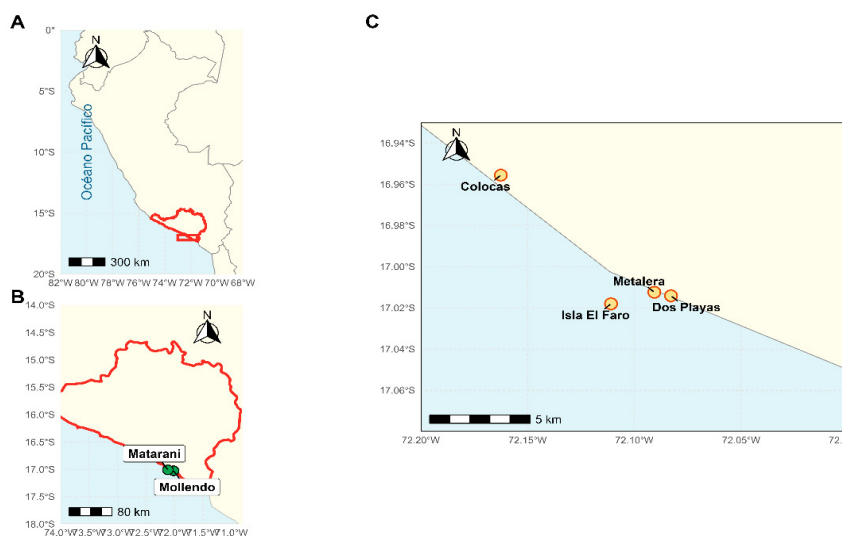


Figura 2.- A) Ubicación del departamento de Arequipa, B) Ubicación de Mollendo- Matarani, C) Zonas de muestreo del choro *A. atra* en el litoral de Matarani (Arequipa, Perú)

Figure 2. A) Location of the Arequipa Region; B) Location of the Mollendo-Matarani area; C) Sampling sites for *A. atra* along the Matarani coastline (Arequipa, Peru)

### Longitud por fase de madurez gonadal

Se evaluó la relación entre la longitud del manto (mm) y la fase de madurez gonadal en ejemplares de *A. atra* recolectados mensualmente en la costa de Arequipa. Las mediciones de longitud se realizaron utilizando un vernier digital con una precisión de  $\pm 0,1$  mm.

### Procesamiento de muestras

El procesamiento de las muestras se llevó a cabo en el área de Biología Reproductiva del Laboratorio Costero de Camaná del Instituto del Mar del Perú (IMARPE). Para el análisis histológico, se empleó inicialmente el método de congelación (PEREA DE LA MATTA & BUITRÓN DÍAZ, 2004). Cuando las gónadas presentaron dificultades para el corte con este método, se recurrió al método de infiltración en parafina (HUMASON, 1979).

### Madurez gonadal

La catalogación de las fases de madurez gonadal se efectuó mediante análisis histológico microscópico. Para ello, se aplicó la escala de madurez gonadal propuesta por INCIO PÉREZ (2018) (Tabla 1), la cual define las fases basándose en la morfología y el desarrollo de ovocitos, la presencia de células sexuales masculinas y su distribución en las trabéculas.

### Actividad reproductiva

La Actividad Reproductiva (AR), que cuantifica la frecuencia de individuos en fase III (maduros) y fase IV (desovantes o expulsantes) dentro de los individuos de una población adulta, se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$AR = \frac{(F_{III} + F_{IV}) * 100}{T} \quad (\text{BUITRÓN } et al., 2011)$$

Donde:

FIII: Número de individuos en fase III (maduros).

FIV: Número de individuos en fase IV (desovantes o expulsantes).

T: Número de individuos adultos.

### Fracción desovante/expulsante (FD/FE)

La fracción desovante/ expulsante, la cual indica la proporción de individuos que se encuentran en el pico de liberación de gametos (fase IV) respecto al total de la población muestreada, se determinó mediante de la siguiente manera:

### Length by Gonadal Maturity Stage

The relationship between mantle length (mm) and gonadal maturity stage was assessed in monthly samples of *A. atra* collected along the Arequipa coast. Measurements were taken with a digital caliper to the nearest  $\pm 0.1$  mm.

### Sample Processing

All specimens were processed in the Reproductive Biology Unit of the IMARPE Coastal Laboratory of Camaná. Histological preparations were initially performed using the freezing method (PEREA DE LA MATTA & BUITRÓN DÍAZ, 2004). When gonadal tissue could not be adequately sectioned using this procedure, paraffin infiltration techniques were applied (HUMASON, 1979).

### Gonadal Maturity

Gonadal maturity stages were assigned through microscopic histological examination using the maturity scale proposed by INCIO PÉREZ (2018) (Table 1). This classification is based on oocyte morphology and development, the presence of male germ cells, and their distribution within trabecular tissue.

### Reproductive Activity

Reproductive Activity (RA), defined as the proportion of adult individuals in stage III (mature) and stage IV (spawning or gamete-releasing), was calculated as follows:

$$RA = \frac{(S_{III} + S_{IV}) * 100}{T} \quad (\text{BUITRÓN } et al., 2011)$$

Where:

SIII: number of individuals in stage III.

SIV: number of individuals in stage IV.

T: total number of adult individuals examined.

### Spawning / Expelling Fraction (SF/EF)

The spawning or releasing fraction, representing the proportion of individuals in stage IV relative to the total sampled population, was estimated as:

$$FD = \frac{Fase\ IV}{H\ tot} \times 100 \quad (\text{BUITRÓN } et\ al.,\ 2011)$$

Donde:

FD: Fracción desovante (hembras).

FE: Fracción expulsante (machos).

Fase IV: Número de individuos en fase IV (desovantes o expulsantes).

H<sub>tot</sub>: Número total de individuos analizados (suma de individuos en fase I a fase IV)

**Factor de condición**

El factor de condición (K) es un índice utilizado para evaluar el estado fisiológico y nutricional de los organismos. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$K = \frac{P}{L^b} \quad (\text{LE CREN, 1951})$$

Donde:

K = Factor de condición.

P = Peso total del organismo (g).

L = Longitud total del organismo (mm).

b = Exponente de la relación longitud-peso.

En estudios previos, se ha asumido que b = 3, lo que representa un crecimiento isométrico. Sin embargo, el presente estudio determinó experimentalmente que el valor real en *A. atra* es 2,47, mediante un análisis de regresión log-log de la relación longitud-peso. La ecuación ajustada fue:

$$P = 10^{-3,11} L^{2,47}$$

$$SF = \frac{Stage\ IV}{H\ tot} \times 100 \quad (\text{BUITRÓN } et\ al.,\ 2011)$$

Where:

SF: spawning fraction (females).

EF: expelling fraction (males).

Stage IV: number of individuals in stage IV.

H<sub>tot</sub>: total number of analyzed individuals (stages I–IV).

**Condition Factor**

The condition factor (K) was used as an indicator of physiological and nutritional status and was calculated as:

$$K = \frac{P}{L^b} \quad (\text{LE CREN, 1951})$$

Where:

K = condition factor.

P = total body weight (g).

L = total length (mm).

b = exponent of the length–weight relationship.

Although previous studies often assumed b = 3 (isometric growth), the present study determined an empirical value of 2.47 for *A. atra* using log-log regression analysis. The fitted model was:

$$P = 10^{-3,11} L^{2,47}$$

Tabla 1.- Escala de madurez gonadal de hembras y machos de choro *A. atra* (INCIO PÉREZ, 2018)

Table 1.- Gonadal maturity scale for females and males of *A. atra* (INCIO PÉREZ, 2018)

Fase	Hembras	Machos
0	Virginal	Virginal
I	Reposo	Reposo
II	Maduración	Maduración
III	Maduro	Maduro
IV	Desovante	Expulsante
V	Recuperación	Post expulsante

## Análisis de datos

Se realizaron pruebas estadísticas para evaluar diferencias significativas en el Factor de Condición (K) en función del mes. Para comparar el K entre meses, se empleó un ANOVA de una vía, previa verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Dado que los tamaños de muestra fueron desiguales y no se cumplieron los supuestos de normalidad en todos los casos, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para analizar las diferencias entre las fases de madurez sexual. Posteriormente, se utilizó la prueba post hoc de Dunn con ajuste de Bonferroni para identificar diferencias entre grupos. El procesamiento de datos y la elaboración de figuras se realizaron mediante el programa RStudio.

## Temperatura superficial del mar (TSM)

Para evaluar la influencia de las condiciones térmicas en la dinámica reproductiva de *A. atra*, se recopiló datos diarios de temperatura superficial del mar (TSM) correspondientes al litoral sur de Perú durante el periodo marzo–noviembre de 2024. Los datos fueron obtenidos de los Boletines Diarios Oceanográficos del Instituto del Mar del Perú (IMARPE, 2024), específicamente para la estación costera de Matarani (17,02°S; 72,11°W).

El análisis de anomalías térmicas ( $\Delta T$  °C) se realizó a partir de los boletines publicados entre junio y noviembre de 2024, periodo para el cual se dispuso de información suficiente que permitió identificar días con desviaciones positivas o negativas respecto a los promedios históricos mensuales.

Además, se consultó al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) así como a la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), específicamente el Informe Técnico N° 08-2024. Los datos también fueron contrastados con los boletines oceanográficos de la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN, 2024 a, b, c), correspondientes a los días 14 de julio, 25 de septiembre y 5 de noviembre, con el fin de establecer una relación temporal entre las variaciones térmicas con la fracción desovante/expulsante observada en la población muestreada. Este análisis se realizó de manera descriptiva, evaluando la correspondencia temporal entre las variables ambientales y la dinámica reproductiva.

## Data Analysis

Statistical analyses were performed to test for significant monthly differences in condition factor (K). Monthly comparisons were conducted using one-way ANOVA after verification of normality and homogeneity of variance assumptions. Because sample sizes were unequal and normality was not met in all cases, the non-parametric Kruskal–Wallis test was used to compare sexual maturity stages. Significant differences were further explored using Dunn's post hoc test with Bonferroni adjustment. Data processing and figure preparation were carried out in RStudio.

## Sea Surface Temperature (SST)

To examine the influence of thermal variability on the reproductive dynamics of *A. atra*, daily sea surface temperature (SST) data were compiled for the southern Peruvian coast during March–November 2024. Records were obtained from the Daily Oceanographic Bulletins of IMARPE (2024), specifically from the Matarani coastal station (17.02°S, 72.11°W).

Thermal anomalies ( $\Delta T$  °C) were analyzed using bulletins issued between June and November 2024, the period for which sufficient data were available to detect positive and negative deviations relative to historical monthly averages.

Additional information was obtained from the National Service of Meteorology and Hydrology of Peru (SENAMHI), as well as the Multisectoral Commission responsible for the National Study of the El Niño Phenomenon (ENFEN), with the Technical Report No. 08-2024. These data were contrasted with oceanographic bulletins from the Peruvian Directorate of Hydrography and Navigation (DHN, 2024 a, b, c) issued on 14 July, 25 September, and 5 November to assess temporal relationships between thermal fluctuations and the spawning/releasing fraction observed in the sampled population. This component of the analysis was descriptive in nature.

### Índice de Afloramiento Costero (IAC)

Adicionalmente, se integró el análisis del Índice de Afloramiento Costero (IAC), reconocido como un factor ambiental clave que modula la disponibilidad de alimento (productividad primaria) para especies filtradoras como *A. atra*. El afloramiento costero, caracterizado por el ascenso de aguas frías y ricas en nutrientes, influye directamente en el acopio de reservas energéticas para la gametogénesis. Los datos del IAC se obtuvieron de la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno “El Niño” (ENFEN, 2024), específicamente del informe técnico Año 10, N° 14, 13 de noviembre de 2024, en el que se analizó su intensidad y variabilidad en la región sur de Perú durante el año, así como su relación temporal con las fases de madurez gonadal, mediante la comparación de tendencias mensuales.

### 3. RESULTADOS

#### Longitud por fase de madurez

Los rangos de longitud registrados por mes, evidenciaron una amplitud relativamente constante a lo largo del periodo de estudio, con valores mínimos cercanos a 50 mm y máximos de hasta 82 mm en setiembre (Tabla 2).

El análisis de la longitud de *A. atra* en función de la fase de madurez sexual, evidenció un patrón claro de crecimiento somático asociado al desarrollo reproductivo (Fig. 3). Los ejemplares en fases tempranas (virginal y reposo) presentaron longitudes menores (medianas entre 50–55 mm), mientras que los individuos en maduración, maduros y desovantes alcanzaron las mayores tallas, con medianas cercanas a 65–70 mm. En la fase de recuperación, las longitudes se mantuvieron en un rango intermedio, aunque con mayor dispersión. Al comparar los rangos de talla entre hembras y machos dentro de cada fase de madurez, no se observaron diferencias significativas notorias entre sexos.

#### Madurez gonadal

En Matarani, la madurez gonadal de la especie evidenció un patrón estacional con diferenciación entre sexos. Durante el periodo de marzo a junio, se determinó un desfase en la progresión gametogénica. En los machos predominó la fase II (maduración); mientras que las hembras alcanzaron mayor frecuencia en la fase III (maduro).

### Coastal Upwelling Index (CUI)

The Coastal Upwelling Index (CUI) was also incorporated as a key environmental variable influencing food availability (primary productivity) for suspension-feeding species such as *A. atra*. Coastal upwelling, characterized by the ascent of cold, nutrient-rich waters, directly contributes to the accumulation of energetic reserves required for gametogenesis. CUI data were obtained from ENFEN (2024), specifically Year 10, No. 14, dated 13 November 2024, which described the intensity and variability of upwelling in southern Peru during the year. Monthly trends were compared with gonadal maturity stages to evaluate their temporal relationship.

### 3. RESULTS

#### Length by Maturity Stage

Monthly shell-length ranges remained relatively stable throughout the study period, with minimum values near 50 mm and maximum values reaching 82 mm in September (Table 2).

The relationship between shell length and sexual maturity stage revealed a well-defined pattern of somatic growth linked to reproductive development (Fig. 3). Individuals in early stages (immature and resting) were generally smaller, with median lengths of 50–55 mm, whereas specimens in developing, mature, and spawning stages reached the largest sizes, with medians close to 65–70 mm. During the recovery stage, shell lengths were intermediate, although variability was greater. Comparisons between females and males within each maturity stage showed no evident differences in size distribution.

#### Gonadal Maturity

At Matarani, gonadal development in *Aulacomya atra* followed a seasonal pattern with noticeable differences between sexes. From March to June, a lag in gametogenic progression was evident. Males were predominantly in stage II (developing), whereas females more frequently reached stage III (mature).

Tabla 2.- Distribución mensual por sexo y rango de longitud valvar del “choro” *A atra* en Matarani (Arequipa, Perú) durante el 2024

Table 2. Monthly distribution by sex and valve length range in *A. atra* from Matarani (Arequipa, Peru) during 2024

Mes	Hembras	Machos	Indeterminado	Longitud valvar (LV)	Total
Marzo	22	33	5	50 - 75	60
Abril	22	32	5	50 - 76	59
Mayo	25	33	6	50 - 78	64
Junio	28	29	6	50 - 79	63
Agosto	35	26	3	50 - 75	64
Setiembre	28	30	5	50 - 82	63
Octubre	40	29	10	46 - 77	79
Noviembre	37	27	7	50 - 73	71
Total					523

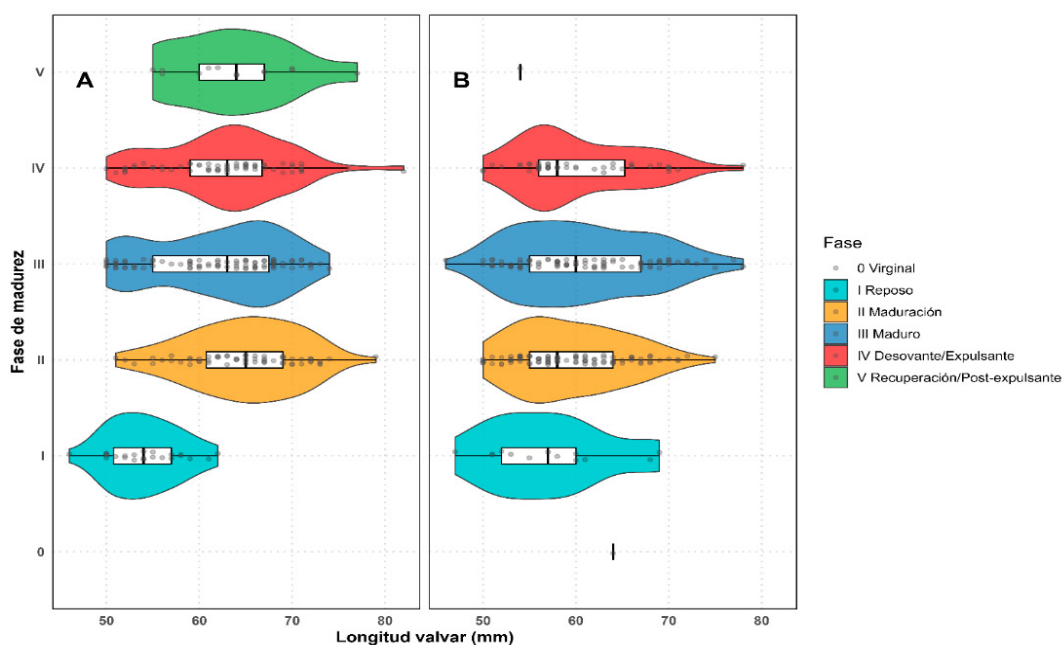


Figura 3.- Distribución de la longitud del manto (mm) de *A. atra* por fase de madurez gonadal, A) Hembras, B) Machos

Figure 3. Distribution of mantle length (mm) of *A. atra* by gonadal maturity stage: A) Females, B) Males

En agosto se registró la mayor proporción de individuos en fase IV (desovante / expulsante). Las hembras alcanzaron un valor máximo de hasta 71,4 % en fase IV (desovante), mientras que los machos presentaron alta proporción en fase III (maduro, 61,5 %) y una fracción menor en fase IV (expulsante). Este elevado nivel de actividad se extendió durante septiembre y octubre, seguido de una disminución progresiva en noviembre.

In August, the highest proportion of individuals in stage IV (spawning/gamete release) was recorded. Females reached a maximum of 71.4% in stage IV, while males were mainly represented by stage III (61.5%), with a smaller fraction in stage IV. High reproductive activity persisted through September and October, followed by a gradual decline in November.

Hacia fines de noviembre, la fase V (recuperación/post-desove) se volvió predominante en ambos sexos, especialmente en hembras. Asimismo, la fase I (reposo) y la fase V (recuperación) estuvieron consistentemente mejor representadas en las hembras a lo largo del periodo, lo que sugiere una mayor variabilidad individual en el retorno a la condición de reposo o finalización más temprana del ciclo reproductivo en comparación con los machos (Fig. 4).

### Fases de madurez por estaciones del año

En hembras, el pico reproductivo se registró en invierno, estación en la que predominaron las fases IV (desovante: 39,3 %) y III (maduro: 33,2 %). Previamente, durante el otoño, las fases II (maduración) y III (maduro), fueron las más frecuentes, evidenciando el avance del progreso gametogénico. Hacia la primavera, se observó un claro incremento de la fase V (recuperación: 23,1 %).

En los machos, la gametogénesis fue más prolongada. Durante otoño predominó la fase II (maduración: 59,6 %); mientras que el máximo periodo de expulsión se registró en primavera, con la fase IV (expulsión, 34,9 %).

Esta diferencia en el pico de desove en hembras y del pico de expulsión en machos evidencia una asincronía reproductiva intersexual. Asimismo, la fase V (recuperación/post-expulsante) fue consistentemente más evidente en las hembras que en los machos a lo largo del ciclo (Fig. 5).

By late November, stage V (recovery/post-spawning) became dominant in both sexes, particularly in females. Likewise, stage I (resting) and stage V were consistently more frequent in females throughout the annual cycle, suggesting greater variability in the return to resting condition or an earlier completion of the reproductive cycle relative to males (Fig. 4).

### Seasonal Distribution of Maturity Stages

In females, reproductive activity peaked during winter, when stage IV (spawning, 39.3%) and stage III (mature, 33.2%) predominated. During autumn, stages II and III were most common, reflecting active gametogenic development. By spring, a marked increase in stage V (recovery, 23.1%) was observed.

In males, gametogenesis was more prolonged. During autumn, stage II predominated (59.6%), whereas the highest gamete-release period occurred in spring, when stage IV accounted for 34.9% of individuals.

The mismatch between the female spawning peak and the male gamete-release peak indicates intersexual reproductive asynchrony. In addition, stage V remained consistently more evident in females than in males throughout the reproductive cycle (Fig. 5).

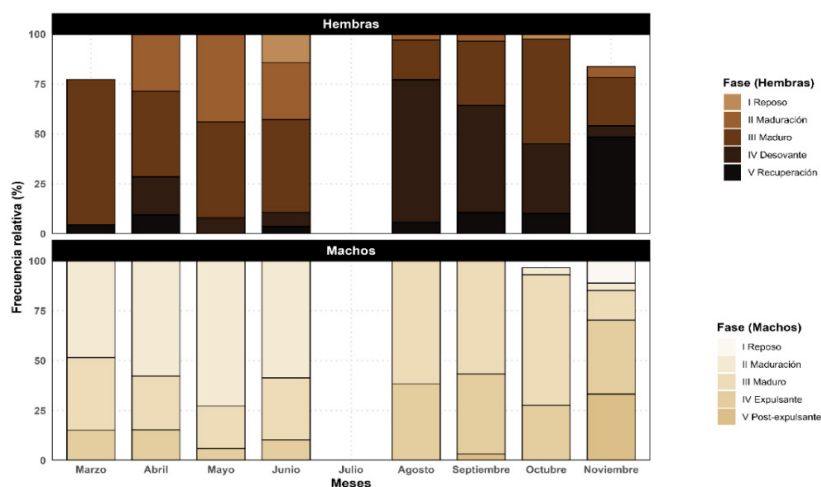


Figura 4.- Frecuencia relativa de fases de madurez gonadal del choro *A. atra*, colectados en Matarani (Arequipa, Perú)

Figure 4. Relative frequency of gonadal maturity stages in *A. atra* collected from Matarani (Arequipa, Peru)

### Actividad Reproductiva (AR)

De marzo a junio, se observó una actividad reproductiva moderada en ambos sexos, con valores entre 56 % y 72,7 % en hembras y de 27,3 % a 51,5 % en machos. De agosto a octubre, se registró un pico de actividad, con valores máximos en agosto, los que se mantuvieron elevados durante septiembre y octubre. En noviembre, se observó un descenso, especialmente en las hembras (Fig. 6).

### Fracción Desovante/Expulsante (FD/FE)

La fracción desovante mostró variaciones a lo largo del año. Durante los primeros meses (marzo a junio) la FD fue notablemente baja en ambos sexos, sin superar el 20 %. En marzo, no se registraron hembras en desove, mientras que los machos ya presentaban una fracción expulsante (FE) de 15,2 %.

A partir de agosto, en las hembras se observó un incremento significativo de la FD, alcanzando su máximo (71,4 %); mientras que en los machos la

### Reproductive Activity (RA)

From March to June, reproductive activity was moderate in both sexes, ranging from 56 % to 72.7 % in females and from 27.3 % to 51.5 % in males. Between August and October, activity intensified, reaching maximum levels in August and remaining elevated through September and October. In November, reproductive activity declined, particularly in females (Fig. 6).

### Spawning / Expelling Fraction (SF/EF)

The spawning fraction exhibited marked seasonal variability. During the first months (March–June), SF remained low in both sexes, not exceeding 20 %. No spawning females were recorded in March, whereas males already exhibited an expelling fraction of 15.2 %.

From August onward, females showed a pronounced increase in SF, reaching a maximum of 71.4%, while males recorded an EF of 38.5%.

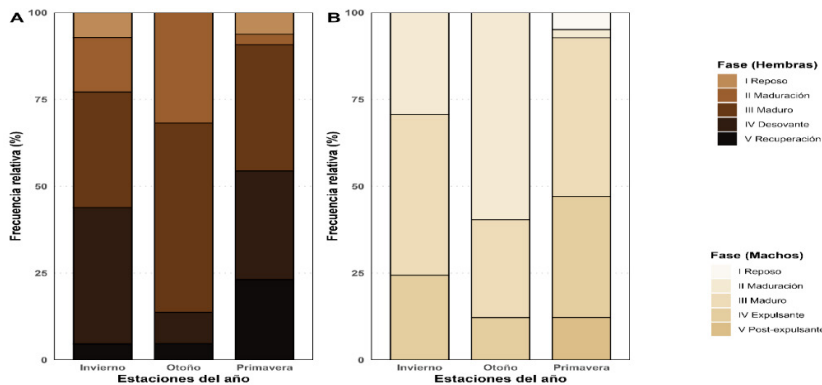


Figura 5.- Fases de madurez gonadal por estaciones del año del choro *A. atra*, colectados en Matarani (Arequipa, Perú). A) Hembras, B) Machos

Figure 5. Seasonal distribution of gonadal maturity stages in *A. atra* collected from Matarani (Arequipa, Peru). A) Females, B) Males

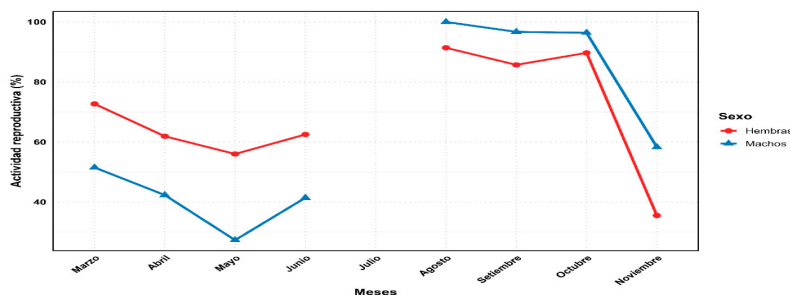


Figura 6.- Actividad reproductiva del choro *Aulacomya atra*, colectados en Matarani (Arequipa, Perú)

Figure 6. Reproductive activity of *Aulacomya atra* collected from Matarani (Arequipa, Peru)

FE fue 38,5 %. En septiembre, la FD disminuyó en hembras (53,6 %) mientras que en machos la FE mostró un ligero incremento (40,00 %).

En los meses siguientes, ambas fracciones disminuyeron progresivamente, registrando en octubre valores de 35,00 % para la FD y de 27,6 % para la FE, y alcanzando sus niveles más bajos en noviembre (5,4 % en hembras y 37,0 % en machos). Estos resultados confirman que el máximo desove ocurre entre agosto y septiembre (Fig. 7).

**Factor de condición (K)**

El factor de condición (K) presentó diferencias altamente significativas en los meses evaluados (ANOVA, F = 30,95; p < 0,001).

Los valores promedio más bajos se registraron en abril (0,000673 ± 0,000060), mientras que el valor promedio más alto, se determinó en octubre (0,000861 ± 0,000094), marzo (0,000838 ± 0,000098) y junio (0,000796 ± 0,000100) también mostraron valores relativamente elevados en comparación con abril y noviembre (Fig. 8).

In September, SF declined in females (53.6%), whereas EF in males rose slightly (40.0%).

During the following months, both fractions decreased progressively, reaching 35.0% (SF) and 27.6% (EF) in October, and their lowest levels in November (5.4% in females and 37.0% in males). These results indicate that the principal spawning season occurred between August and September (Fig. 7).

**Condition Factor (K)**

Condition factor (K) differed significantly among months (ANOVA, F = 30.95; p < 0.001).

The lowest mean value was recorded in April (0.000673 ± 0.000060), whereas the highest mean occurred in October (0.000861 ± 0.000094). March (0.000838 ± 0.000098) and June (0.000796 ± 0.000100) also showed comparatively high values relative to April and November (Fig. 8).

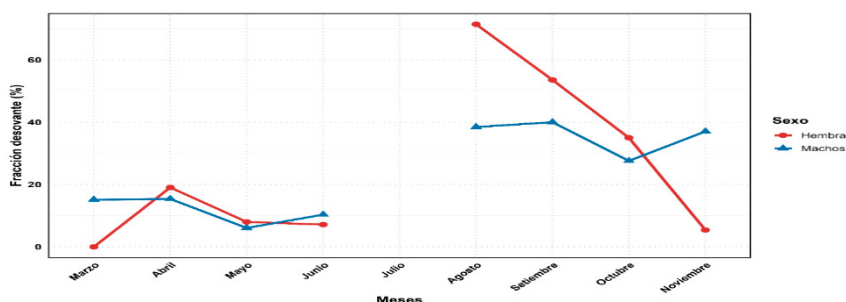


Figura 7.- Fracción desovante del choro *Aulacomya atra*, colectados en Matarani (Arequipa, Perú)

Figure 7. Spawning fraction of *Aulacomya atra* collected from Matarani (Arequipa, Peru)

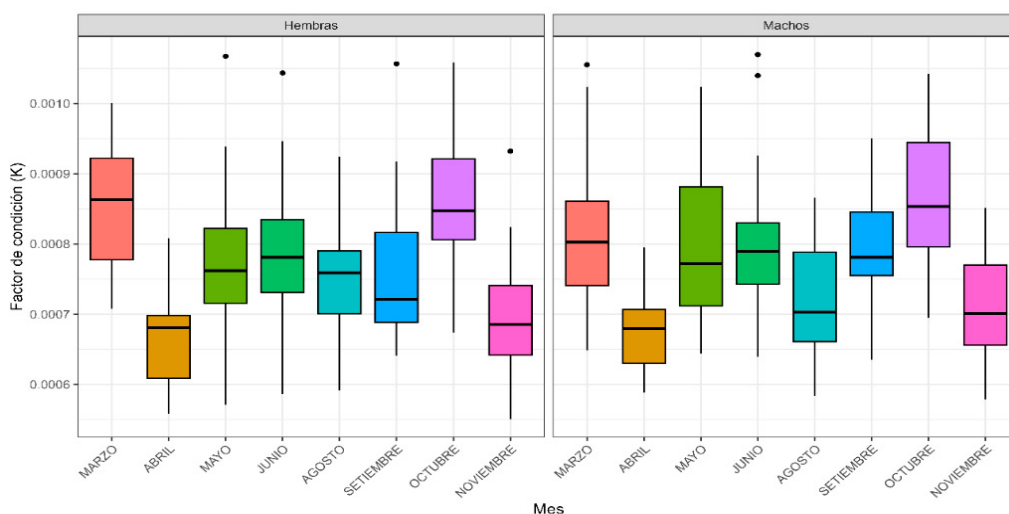


Figura 8.- Distribución del factor de condición mensual de choro *Aulacomya atra*, colectados en Matarani (Arequipa, Perú). A) Hembras, B) Machos

Figure 8. Monthly distribution of the condition factor in *Aulacomya atra* collected from Matarani (Arequipa, Peru). A) Females, B) Males

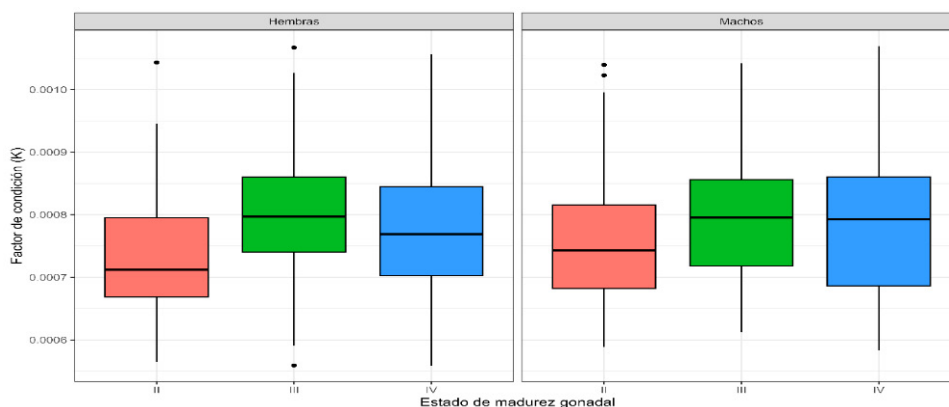


Figura 9.- Distribución del factor de condición por fase de madurez sexual de choro *Aulacomya atra* colectados en Matarani (Arequipa, Perú). A) Hembras y B) Machos

Figure 9. Distribution of the condition factor across sexual maturity stages in *Aulacomya atra* collected from Matarani (Arequipa, Peru). A) Females, B) Males

El análisis post hoc de Tukey indicó que abril fue significativamente inferior a marzo, mayo, junio y octubre ( $p < 0,001$ ). Asimismo, octubre presentó valores significativamente superiores a agosto, setiembre y noviembre ( $p < 0,01$ ).

No se detectaron diferencias estadísticamente significativas en el valor de  $K$  entre hembras y machos ( $t = -0,689$ ,  $gl = 479,9$ ,  $p = 0,491$ ).

#### Variación del Factor de Condición con las fases de madurez sexual

El análisis de Kruskal–Wallis evidenció diferencias significativas en este factor entre los estados de madurez gonadal ( $\chi^2 = 20,31$ ,  $gl = 2$ ,  $p < 0.001$ ) (Fig. 9).

El análisis post hoc de Dunn mostró diferencias significativas entre las fases II y III, así como entre las fases II y IV ( $p < 0,05$ ), mientras que no se observaron diferencias significativas entre las fases III y IV ( $p > 0,05$ ). Los valores más altos del factor de condición se registraron en la fase III (maduro), mientras que la fase II presentó valores inferiores. La fase IV mostró valores intermedios.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre sexos en el valor promedio de  $K$ .

#### Influencia de la temperatura superficial del mar (TSM)

La temperatura superficial del mar (TSM) en la estación de Matarani mostró una tendencia descendente desde marzo (18,3 °C) hasta septiembre (14,9 °C) alcanzando sus valores más bajos en plena época reproductiva de *A. atra*. Posteriormente,

Tukey's post hoc test showed that April values were significantly lower than those of March, May, June, and October ( $p < 0.001$ ). Likewise, October values were significantly higher than those of August, September, and November ( $p < 0.01$ ).

No statistically significant differences in  $K$  were detected between females and males ( $t = -0.689$ ,  $gl = 479.9$ ,  $p = 0.491$ ).

#### Condition Factor by Gonadal Maturity Stage

The Kruskal–Wallis test revealed significant differences in  $K$  among gonadal maturity stages ( $\chi^2 = 20.31$ ,  $gl = 2$ ,  $p < 0.001$ ) (Fig. 9).

Dunn's post hoc test indicated significant differences between stages II and III, and between stages II and IV ( $p < 0.05$ ), whereas no significant differences were detected between stages III and IV ( $p > 0.05$ ). The highest condition factor values were observed in stage III (mature), while stage II showed lower values. Stage IV presented intermediate values.

No statistically significant differences in mean  $K$  were found between sexes.

#### Influence of Sea Surface Temperature (SST)

Sea surface temperature (SST) at the Matarani station declined steadily from March (18.3 °C) to September (14.9 °C), reaching minimum values during the main reproductive season of *Aulacomya atra*. A slight increase was subsequently recorded in October (15.7 °C) and November (16.4 °C) (Table 3).

te, se registró un leve ascenso térmico en octubre (15,7 °C) y noviembre (16,4 °C) (Tabla 3).

El análisis de las anomalías térmicas diarias ( $\Delta T$ ) evidenció la ocurrencia de varios días con desviaciones significativas respecto al promedio histórico. En agosto y septiembre se registraron anomalías térmicas tanto positivas (hasta +0,7 °C) como negativas (hasta -0,2 °C), mientras que en octubre predominaron anomalías negativas persistentes (-0,3 °C a -0,4 °C), lo cual coincidió con el descenso progresivo en la fracción desovante observada en esos meses (Tabla 3).

El informe SENAMHI-ENFEN (2024) reportó en agosto anomalías promedio de hasta -0,46 °C en la región Niño 1+2, lo cual abarca la costa norte y parte de la costa central y sur de Perú. Asimismo, se documentaron enfriamientos persistentes de la superficie marina durante agosto y setiembre, reflejados en temperaturas por debajo de los valores normales.

Por su parte, la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN, 2024 a, b, c) reportó variaciones en la TSM y en las anomalías térmicas a lo largo del segundo semestre del 2024. En julio se observaron anomalías negativas de TSM frente a la costa centro y sur de Perú, con núcleos de hasta -2 °C. En septiembre, se registraron anomalías negativas de hasta -1 °C en gran parte de la costa centro y parte

Analysis of daily thermal anomalies ( $\Delta T$ ) revealed several days with substantial deviations from historical averages. In August and September, both positive anomalies (up to +0.7 °C) and negative anomalies (down to -0.2 °C) were recorded. During October, persistent negative anomalies (-0.3 °C to -0.4 °C) predominated, coinciding with the progressive decline in spawning fraction observed during that period (Table 3).

The SENAMHI-ENFEN (2024) report documented mean anomalies of up to -0.46 °C in the Niño 1+2 region during August, encompassing northern and portions of central and southern Peru. Persistent surface cooling during August and September was also reported, with temperatures below climatological values.

Similarly, the Peruvian Directorate of Hydrography and Navigation (DHN, 2024 a, b, c) described marked SST variability during the second half of 2024. In July, negative anomalies were observed off the central and southern Peruvian coast, with cores reaching -2 °C. In September, anomalies of up to -1 °C affected much of the central coast and part of the south. By November, both negative and positive anomalies were recorded along different sectors of the coastline.

Tabla 3.- Temperatura superficial del mar (TSM) promedio mensual y anomalías térmicas diarias ( $\Delta T$  °C) registradas en Matarani (17,02°S; 72,11°W) durante 2024, según boletines diarios oceanográficos del Instituto del Mar del Perú (IMARPE). Las anomalías térmicas se tomaron en cuenta desde julio a noviembre

Table 3. Average monthly sea surface temperature (SST) and daily thermal anomalies ( $\Delta T$  °C) recorded at Matarani (17.02°S; 72.11°W) during 2024, based on daily oceanographic bulletins from the Instituto del Mar del Perú (IMARPE). Thermal anomalies were considered from July to November

Mes de Muestreo	TSM Promedio (°C)	Anomalía ( $\Delta T$ °C)			
		Día	Variación positiva (°C)	Día	Variación negativa (°C)
Marzo	18,3				
Abril	17,6				
Mayo	16,4				
Junio	16,3				
Julio	15,7	23	0,8		
		25	0,6		
		8	0,7		
		9	0,6		
		17	0,2		
Agosto	15,3	18	0,5	20	0,2
		26	0,7	24	0,2
		27	0,3	28	0,2
Septiembre	14,9			1	0,4
				2	0,3
				3	0,4
Octubre	15,7				
Noviembre	16,4				

Tabla 4.- Intensidad cualitativa del Índice de Afloramiento Costero (IAC) en la zona sur de Perú (13°–18°S) durante 2024, según la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN)

Table 4. Qualitative intensity of the Coastal Upwelling Index (CUI) in southern Peru (13°–18°S) during 2024, according to the Multisectoral Commission responsible for the National Study of the El Niño Phenomenon (ENFEN in Spanish)

Mes 2024	Velocidad del viento (m s <sup>-1</sup> )	IAC (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> 100 m <sup>-1</sup> )	Condición oceánica
Ene- Mar	< 5	< 300	Relajamiento
Abr- May	6 a 7	400-700	Transición
Jun	8	800	Alta
Jul-Ago	9 a 10	≈ 1100	Máxima
Sep	8 a 9	≈ 950	Alta
Oct- Nov	6 a 7	400-700	Moderada

del sur. Asimismo, en noviembre se presentaron anomalías tanto negativas como positivas en distintas estaciones a lo largo del litoral.

#### El análisis del Índice de Afloramiento Costero (IAC)

El análisis del Índice de Afloramiento Costero (IAC) evidenció una relación directa con la dinámica reproductiva de *A. atra* en la costa sur del Perú. Los valores del IAC, estimados a partir del viento satelital (ASCAT + GFS) a 110 km de la costa, mostraron un incremento sostenido desde mayo, alcanzando su máxima intensidad entre julio y septiembre de 2024, periodo que coincidió con el pico de desove observado mediante análisis histológico (Tabla 4).

Durante octubre y noviembre, el IAC disminuyó progresivamente (≈400–700 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> 100 m<sup>-1</sup>), lo que indica una fase de relajamiento del afloramiento y una reducción en la disponibilidad de nutrientes. Estos resultados sugieren que la reproducción de esta especie está sincronizada con las condiciones de surgencia costera, las cuales incrementan la productividad primaria y favorecen la acumulación de reservas energéticas necesarias para la gametogénesis.

#### 4. DISCUSIÓN

La madurez gonadal de *A. atra* en Matarani evidencia un ciclo reproductivo estacional durante el periodo evaluado, con diferencias marcadas entre sexos. Durante otoño (marzo-junio) los machos permanecen mayoritariamente en fase II (maduración) mientras que, las hembras alcanzan más tempranamente la fase III (maduro)

#### Coastal Upwelling Index (CUI)

The Coastal Upwelling Index (CUI) showed a close relationship with the reproductive dynamics of *A. atra* along the southern Peruvian coast. Values derived from satellite wind products (ASCAT + GFS) at 110 km offshore increased steadily from May onward, reaching maximum intensity between July and September 2024, coincident with the spawning peak identified through histological analyses (Table 4).

During October and November, the CUI declined progressively (≈400–700 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> 100 m<sup>-1</sup>), indicating relaxation of upwelling intensity and reduced nutrient supply. These findings suggest that reproduction in *A. atra* is synchronized with coastal upwelling conditions, which enhance primary productivity and facilitate the accumulation of energetic reserves required for gametogenesis.

#### 4. DISCUSSION

The gonadal maturity of *A. atra* in Matarani revealed a well-defined seasonal reproductive cycle during the study period, with marked differences between sexes. During autumn (March–June), males remained predominantly in Stage II (maturing), whereas females reached Stage III (mature) earlier, indicating a temporal lag in the onset of reproductive development. Similar sexual asynchrony has been reported in Chilean populations (AVENDAÑO & CANTILLÁNEZ, 2012), where temporal differences in spawning

lo que revela un desfase en el inicio del proceso reproductivo. Este patrón de asincronía sexual ha sido reportado también en poblaciones chilenas (AVENDAÑO & CANTILLÁNEZ, 2012), donde se describen variaciones temporales en los eventos reproductivos y en la disponibilidad de los gametos. Dicho desfase podría estar asociado a diferencias fisiológicas en la asignación de energía durante la gametogénesis, ya que machos y hembras presentan estrategias distintas de inversión energética en el desarrollo gonadal.

El pico reproductivo se concentra entre agosto y octubre. En agosto, las hembras se encontraron mayoritariamente en fase desovante (71,4 %), lo que sugiere una respuesta a un “disparador” ambiental, posiblemente asociado a la disminución de la temperatura superficial del mar (TSM) o al inicio del afloramiento. Este patrón favorecería la fecundación externa mediante eventos de alta densidad gamética.

Por su parte, los machos presentaron una alta proporción de individuos maduros (61,5 %) y una fracción expulsante moderada, evidenciando una liberación pulsátil de gametos. Este desfase entre sexos sugiere una estrategia reproductiva adaptativa, en la cual las hembras concentran la liberación de gametos en periodos óptimos, mientras los machos prolongan su disponibilidad reproductiva, incrementando así las probabilidades de fecundación. Este comportamiento es consistente con lo descrito en otros bivalvos filtradores (PÉREZ *et al.*, 2013).

La comparación estacional refuerza este patrón: las hembras muestran su mayor actividad reproductiva durante el invierno, con altas frecuencias en las fases desovante y madura, mientras que los machos extienden la fase de maduración durante el otoño y alcanzan su mayor actividad de expulsión en primavera. Esta asincronía reproductiva se traduce en una recuperación más rápida en hembras, evidenciada por el predominio de la fase V (recuperación) en noviembre, lo cual concuerda con observaciones en otras poblaciones del Atlántico Sur (TORTORELLI, 1987).

La rápida recuperación de las hembras (fase V en noviembre) resulta clave, ya que, tras el elevado costo energético de la ovogénesis y el desove masivo, ingresan prontamente en una fase de restauración que les permite sostener el siguiente

activity and gamete availability were also documented. This offset may reflect sex-specific energetic strategies during gametogenesis, as males and females allocate resources differently to gonadal development.

The reproductive peak occurred between August and October. In August, females were predominantly in Phase IV (spawning; 71.4%), suggesting activation by an environmental cue, likely linked to declining sea surface temperature (SST) and/or the onset of coastal upwelling. Such synchronization would enhance external fertilization success through high-density gamete release.

By contrast, males showed a high proportion of mature individuals (61.5%) and a moderate spent fraction, indicating a more prolonged and pulsatile gamete release pattern. This intersexual offset suggests an adaptive reproductive strategy in which females concentrate spawning during optimal periods, whereas males extend reproductive readiness, thereby maximizing fertilization probability. Comparable strategies have been described in other filter-feeding bivalves (PÉREZ *et al.*, 2013).

Seasonal comparisons further supported this pattern. Females exhibited maximum reproductive activity in winter, with high frequencies of spawning and mature stages, whereas males prolonged gametogenic development through autumn and reached peak gamete release in spring. This reproductive asynchrony translated into faster post-spawning recovery in females, as indicated by the predominance of Stage V (recovery) in November, consistent with observations from South Atlantic populations (TORTORELLI, 1987).

Rapid female recovery (Stage V in November) is particularly relevant given the high energetic cost of oogenesis and mass spawning, allowing restoration of reserves before the next reproductive cycle. This is consistent with the greater variability in condition factor (K) observed in females, reflecting the elevated metabolic cost of female reproduction.

Reproductive activity (RA) followed the same seasonal trend: moderate values from March to June reflected ongoing gonadal development,

ciclo reproductivo. Esto concuerda con la mayor variabilidad del Factor de Condición (K) observada en hembras, reflejando el alto costo metabólico asociado a la reproducción femenina.

La actividad reproductiva (AR) respalda este patrón: valores moderados entre marzo y junio reflejan la maduración gonadal, mientras que el incremento abrupto en agosto y septiembre señala el clímax reproductivo. Posteriormente, se observa un descenso pronunciado en noviembre, particularmente en hembras.

En conjunto estos resultados confirman que el ciclo reproductivo de *A. atra* en Matarani está determinado por un pico sincrónico durante el periodo invierno-primavera, seguido de un retorno más temprano a la fase de recuperación en hembras. Este patrón constituye un rasgo adaptativo clave que optimiza el éxito reproductivo de la especie en condiciones ambientales altamente estacionales, que también ha sido observado en otras especies de *Aulacomya*, como es *A. atra atra* del Golfo de San Matías en Río Negro, Argentina (FAGUAGA, 2025).

La fracción desovante confirma esta dinámica. Entre marzo y junio se mantiene baja (<20 %) en ambos sexos, lo cual es coherente con la fase de gametogénesis y preparación reproductiva. A partir de agosto, se observa un incremento marcado en hembras (71,4 %) y en machos (38,5 %), seguido de un descenso gradual en los meses posteriores.

En septiembre, aunque las hembras reducen su fracción desovante (53,6 %) los machos mantienen niveles altos (40,0 %), prolongando así el aporte reproductivo. Este patrón ha sido descrito previamente en el Canal Beagle (PÉREZ *et al.*, 2013) y en Ilo, Perú (INCIO PÉREZ, 2018) donde la máxima actividad coincide con descensos en la TSM.

El factor de condición, considerado como un proxy indirecto de la biomasa gonadal, mostró variaciones estacionales a lo largo del año, con valores relativamente elevados entre agosto y octubre, alcanzando su máximo en octubre y disminuyendo en noviembre tras el periodo de mayor actividad reproductiva. Este patrón, típico en bivalvos (BENINGER & LUCAS, 1984), refleja la acumulación progresiva de reservas energéticas durante la gametogénesis y su posterior utilización durante la liberación de gametos.

whereas the sharp increase in August and September marked the reproductive climax. A pronounced decline occurred in November, especially among females.

Together, these findings indicate that the reproductive cycle of *A. atra* in Matarani is characterized by a synchronized winter–spring peak followed by an earlier recovery phase in females. This pattern appears to be an adaptive trait optimizing reproductive success under strongly seasonal environmental conditions, and has also been reported for other *Aulacomya* populations, including *A. atra atra* from San Matías Gulf, Argentina (FAGUAGA, 2025).

The spawning fraction further confirmed this seasonal dynamic. From March to June, values remained low (<20%) in both sexes, consistent with gonadal development and reproductive preparation. Beginning in August, a sharp increase was recorded in females (71.4%) and males (38.5%), followed by a gradual decline in subsequent months.

In September, although the female spawning fraction declined (53.6%), males maintained relatively high values (40.0%), thereby extending reproductive contribution. Similar patterns have been documented in the Beagle Channel (PÉREZ *et al.*, 2013) and in Ilo, Peru (INCIO PÉREZ, 2018), where peak activity also coincided with declining SST.

The condition factor, used as an indirect proxy of gonadal biomass, exhibited clear seasonal variation, with relatively high values from August to October, peaking in October and declining in November after the period of maximum reproductive activity. This pattern, typical of bivalves (BENINGER & LUCAS, 1984), reflects the progressive accumulation of energy reserves during gametogenesis and their subsequent depletion during gamete release.

Females displayed greater variability than males, suggesting sex-related differences in energetic allocation during reproduction, as previously reported for *A. atra* (INCIO PÉREZ, 2018; AVENDAÑO & CANTILLÁNEZ, 2012). This variability may be associated with both individual spawning asynchrony and differential use of reserves, with

Las hembras presentaron una mayor variabilidad en comparación con los machos, lo que sugiere diferencias en la asignación de energía a la gametogénesis, tal como ha sido reportado en estudios previos sobre *A. atra* (INCIO PÉREZ, 2018; AVENDAÑO & CANTILLÁNEZ, 2012). Esta mayor variabilidad podría estar asociada tanto a una asincronía individual en el desove como a un patrón diferencial en el uso de reservas energéticas, en el cual los lípidos se destinan principalmente a la producción de ovocitos, mientras que otros compuestos cumplen funciones de mantenimiento somático.

La coincidencia temporal entre los valores más altos del K y los picos de actividad reproductiva sugiere una estrecha relación entre la condición fisiológica y la dinámica reproductiva de la especie bajo las condiciones ambientales del litoral sur de Perú.

El análisis de la TSM, basado en los boletines diarios del IMARPE (2024) entre marzo y noviembre, evidenció un descenso progresivo desde 18,3 °C en marzo hasta 14,9 °C en septiembre. Este enfriamiento coincidió con el incremento de la fracción desovante y el pico reproductivo de la especie entre agosto y octubre.

Este patrón es consistente con el Informe Técnico SENAMHI-ENFEN (2024, N° 08-2024), que reportó anomalías térmicas negativas de hasta -0,46 °C en la región Niño 1+2 durante agosto, con persistencia del enfriamiento durante septiembre. Asimismo, los boletines del DHN (2024a, b, c), informaron anomalías térmicas negativas en el litoral centro-sur de Perú, con núcleos de hasta -2 °C en julio, -1 °C en septiembre, así como condiciones térmicas más variables en noviembre.

En conjunto, estos resultados sugieren que temperaturas más bajas actúan como un “disparador” ambiental (*cueing signal*) que induce el desove masivo en una población adaptada a condiciones de surgencia (afloramiento). Este comportamiento ha sido descrito en otros bivalvos, como *Mytilus chilensis* (OYARZÚN *et al.*, 2011). De manera complementaria, el incremento del Índice de Afloramiento Costero (IAC) durante julio, agosto y septiembre de 2024 (ENFEN, 2024) indica un mayor aporte de nutrientes, lo que favorece la productividad primaria y fortalece la gametogénesis, un patrón previamente documentado en bivalvos (PÉREZ *et al.*, 2013).

En conjunto, los resultados indican que el ciclo reproductivo de *A. atra* en Matarani sugieren una

lipids primarily invested in oocyte production while other compounds support somatic maintenance.

The temporal coincidence between the highest K values and peaks in reproductive activity suggests a close link between physiological condition and reproductive dynamics under the environmental regime of the southern Peruvian coast.

Analysis of SST data from IMARPE bulletins (March–November 2024) showed a progressive decline from 18.3 °C in March to 14.9 °C in September. This cooling coincided with the increase in spawning fraction and the reproductive peak observed between August and October.

These results are consistent with the SENAMHI-ENFEN Technical Report (2024, N° 08-2024), which documented negative thermal anomalies of up to -0.46 °C in Niño Region 1+2 during August, with persistent cooling through September. Likewise, DHN reports (2024a, b, c) described negative anomalies along the central and southern Peruvian coast, reaching -2 °C in July and -1 °C in September, followed by more variable thermal conditions in November.

Collectively, these findings suggest that lower temperatures act as an environmental cue triggering mass spawning in a population adapted to upwelling conditions. Similar responses have been reported in other bivalves, including *Mytilus chilensis* (OYARZÚN *et al.*, 2011). In addition, the increase in the Coastal Upwelling Index (CUI) during July–September 2024 (ENFEN, 2024) indicates enhanced nutrient input, stimulating primary productivity and supporting gametogenesis, as previously described for bivalves (PÉREZ *et al.*, 2013).

Overall, the reproductive cycle of *A. atra* in Matarani appears closely associated with thermocline dynamics and upwelling events, with mass spawning synchronized to the onset of below-average temperatures and sustained trophic support provided by coastal upwelling. Nevertheless, further studies integrating

asociación con la termoclina y los eventos de surgencia, con desoves masivos sincronizados con el inicio de las temperaturas subpromedio (anomalías negativas) y con un soporte trófico sostenido por los afloramientos. Sin embargo, se recomienda continuar con estudios que integren otras variables ambientales, como la disponibilidad de alimento y la salinidad, para comprender mejor la dinámica reproductiva de la especie. El pico reproductivo registrado entre agosto y octubre respalda el periodo de la veda reproductiva actualmente vigente. No obstante, la asincronía sexual observada pone de manifiesto la necesidad de un manejo pesquero que considere, por un lado, la protección de la disponibilidad prolongada de gametos masculinos hasta la primavera y, por otro, la recuperación fisiológica de las hembras tras el periodo reproductivo.

La fase de recuperación muestra mayor dispersión de tallas, lo que refleja diferencias individuales en la dinámica post-desove. No se observaron diferencias significativas entre sexos, lo que sugiere patrones similares de crecimiento y maduración en hembras y machos.

Esta ausencia de dimorfismo sexual en talla permite establecer una única Talla Mínima de Captura (TMC) para ambos sexos. No obstante, se recomienda que futuros estudios incluyan un mayor número de individuos juveniles, con el fin de estimar el  $L_{50}$  parámetro fundamental en la definición de TMC. La estimación precisa de este umbral resulta fundamental, ya que medidas de manejo por debajo de este rango podrían permitir la extracción de ejemplares inmaduros o con baja contribución reproductiva, comprometiendo la sostenibilidad del recurso.

## 5. CONCLUSIONES

El estudio del ciclo reproductivo de *Aulacomya atra* en Puerto Matarani durante 2024 evidencia un ciclo estacional bien definido, estrechamente ligado a las condiciones oceanográficas locales, con implicancias directas para su manejo sostenible. Los individuos en fases reproductivas activas (III y IV) se asociaron a las mayores tallas (65-70 mm), sin observarse dimorfismo sexual en la talla de madurez.

La población exhibió un claro patrón de maduración durante el otoño (marzo-junio), seguido de un periodo de desove máximo entre agosto y octubre, con pico en invierno, y un retorno a la

additional environmental variables, such as food availability and salinity, are recommended to better understand the reproductive ecology of the species. The reproductive peak recorded between August and October supports the current seasonal closure established for this resource. However, the observed sexual asynchrony highlights the need for management measures that protect prolonged male gamete availability into spring while also allowing adequate post-spawning recovery of females.

The recovery phase showed greater size dispersion, reflecting individual differences in post-spawning dynamics. No significant size differences were detected between sexes, suggesting similar growth and maturation trajectories in males and females.

This absence of sexual size dimorphism supports the use of a common Minimum Legal Size (MLS) for both sexes. However, future studies should include a larger proportion of juvenile individuals in order to estimate  $L_{50}$  more accurately, as this parameter is fundamental for defining MLS thresholds. Precise estimation is essential, since management measures set below this range may allow harvest of immature individuals or those with low reproductive contribution, thereby compromising resource sustainability.

## 5. CONCLUSIONS

The reproductive cycle of *Aulacomya atra* in Matarani during 2024 was strongly seasonal and closely linked to local oceanographic conditions, with direct implications for sustainable management. Individuals in active reproductive stages (III and IV) were associated with the largest size classes (65–70 mm), and no sexual dimorphism in size at maturity was detected.

The population displayed a clear maturation period during autumn (March–June), followed by peak spawning between August and October, with maximum activity in winter, and a return to recovery conditions in November. Intersexual asynchrony was also confirmed, with females reaching maturity and completing spawning earlier than males. This was reflected in the

fase de recuperación en noviembre. Asimismo, se confirmó una asincronía intersexual, en la cual las hembras alcanzan la madurez y completan el desove más rápidamente que los machos. Este patrón se refleja en la mayor variabilidad del factor de condición y en el predominio de la fase de recuperación (V) en hembras hacia el final del ciclo.

La mayor fracción desovante y los valores más altos del K coincidieron con periodos de anomalías térmicas negativas, y con el incremento del afloramiento costero trófico asociado. En este contexto, la disminución de la TSM actuaría como el principal disparador para la liberación de gametos, mientras que la surgencia aportaría el soporte trófico necesario para la gametogénesis.

El conocimiento del pico de desove (agosto-octubre) respalda la ventana temporal de la veda reproductiva actualmente implementada para este recurso. No obstante, para optimizar las medidas de manejo, se recomienda incrementar la representatividad de individuos juveniles/virginales en futuros estudios, a fin de estimar con mayor precisión la talla de primera madurez sexual ( $L_{50}$ ) y establecer valores de TMC basados en evidencia científica.

Finalmente, el monitoreo continuo del Factor de Condición y de la Actividad Reproductiva durante noviembre resulta clave para determinar el umbral biológico de finalización de la veda, asegurando la adecuada recuperación fisiológica de las hembras y la sostenibilidad del recurso.

greater variability of condition factor and the predominance of the recovery phase (V) among females toward the end of the cycle.

The highest spawning fractions and condition factor values coincided with periods of negative thermal anomalies and intensified trophic upwelling. In this context, declining SST likely acts as the principal trigger for gamete release, whereas upwelling provides the trophic support required for gametogenesis.

Knowledge of the spawning peak (August–October) supports the temporal window of the current reproductive closure for this resource. However, to optimize management measures, future studies should improve the representation of juvenile and virginal individuals in order to estimate size at first sexual maturity ( $L_{50}$ ) more accurately and establish MLS values based on robust scientific evidence.

Finally, continued monitoring of condition factor and reproductive activity during November is essential to determine the biological threshold for ending the closed season, ensuring adequate female recovery and long-term sustainability of the resource.

## 6. REFERENCIAS

- ALAMO, V. & VALDIVIESO, V. (1997). *Lista sistemática de moluscos marinos del Perú* (2ª ed.). Instituto del Mar del Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/1436>
- AVENDAÑO, M. & CANTILLÁNEZ, M. (2012). Reproductive cycle, collection and early growth of *Aulacomya ater*, Molina 1782 (Bivalvia: Mytilidae) in northern Chile. *Aquaculture Research*, 44(9), 1327-1338. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2012.03149.x>
- BALDARRAGO, D. (2019). Choro *Aulacomya atra* (Molina, 1782) [Ficha técnica]. Catálogo Digital de la Biodiversidad Acuática del Perú, Instituto del Mar del Perú (IMARPE). Recuperado el 20 de enero del 2026, de <https://biodiversidadacuatica.imarpe.gob.pe/Catalogo/Especie?id=38>
- BENINGER, P. G. & LUCAS, A. (1984). Seasonal variations in condition, reproductive activity, and gross biochemical composition of two species of adult clam reared in a common habitat: *Tapes decussatus* L. (Jeffreys) and *Tapes philippinarum* (Adams & Reeve). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 79, 19–37. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(84\)90028-5](https://doi.org/10.1016/0022-0981(84)90028-5)
- BUITRÓN, B., PEREA, Á., 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>
- CANCINO, J. & BECERRA, R. (1978). Antecedentes sobre la biología y tecnología del cultivo de *Aulacomya ater* (Molina, 1782) (Mollusca: Mytilidae). *Biol. Pesq.*, 10, 27-45. <https://doi.org/10.21703/0067-8767.1978.10.2411>
- COMISIÓN MULTISECTORIAL ENCARGADA DEL ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO EL NIÑO [ENFEN]. (2024). *Diagnóstico Climático y Previsión de El Niño-Oscilación del Sur en el Perú al 13 de noviembre 2024* (Informe Técnico ENFEN Año 10, N°14). <https://hdl.handle.net/20.500.12958/9521>
- DIRECCIÓN DE HIDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN [DHN]. (2024a). *Boletín diario de las condiciones oceanográficas – 14/07/2024*. <https://acortar.link/zLdAzq>
- DIRECCIÓN DE HIDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN [DHN]. (2024b). *Boletín diario de las condiciones oceanográficas – 25/09/2024*. <https://acortar.link/ywn55k>
- DIRECCIÓN DE HIDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN [DHN]. (2024c). *Boletín diario de las condiciones oceanográficas – 05/11/2024*. <https://acortar.link/84jWYv>
- FAGUAGA, D. A. (2025). *Descripción del patrón reproductivo de Aulacomya atra atra* (Molina, 1782) a lo largo de un ciclo anual en el Golfo de San Matías, Río Negro, y su relación con la temperatura y la concentración de la clorofila a [Tesis de titulación, Universidad Nacional de Comahue]. Repositorio Digital Institucional UNC. <https://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncoma/18860>
- GAMARRA, A. & CORNEJO, O. (2002). Study of the mussel *Aulacomya atra*, Molina, 1782 (Bivalvia: Mytilidae), near Santa Rosa Island, Independence Bay, Peru, during the “El Niño” phenomenon 1997–98. *Investigaciones Marinas*, 30(S1), 140. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-71782002030100045>
- GRIFFITHS, R. J. (1977). Reproductive cycles in littoral populations of *Choromytilus meridionalis* (Kr.) and *Aulacomya ater* (Molina) with a quantitative assessment of gamete production in the former. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 30, 53–71. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(77\)90027-2](https://doi.org/10.1016/0022-0981(77)90027-2)
- HUMASON, G. L. (1979). *Animal tissue techniques* (4ª ed.). W H Freeman & Co.
- INCIO PÉREZ, A. P. (2018). *Desarrollo gonadal y escala de madurez de Aulacomya atra* (Bivalvia: Mytilidae) durante el año 2014, en el litoral de Ilo, Moquegua [Tesis de Licenciatura, Universidad Científica del Sur]. Repositorio UCS. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/576>
- INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ [IMARPE]. (2024). *Boletines diarios oceanográficos del litoral peruano* (marzo–noviembre del 2024). <https://siofen.imarpe.gob.pe/boletines-e-informes/BDO>
- LAWTON, J. H. (1994). What do species do in ecosystems? *OIKOS*, 71, 367-374. <https://doi.org/10.2307/3545824>
- LE CREN, E. D. (1951). The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). *Journal of Animal Ecology*, 20(2), 201-219. <https://doi.org/10.2307/1540>
- MARÍN SOTO, W., MEDINA CRUZ, A., CASTILLO MENDOZA, G., ESTRELLA ARELLANO, C., GUARDIA OTÁROLA, A., GUEVARA-CARRASCO, R., DOMALAIN, G., WACH, M. & BERTRAND, A. (2017). *Atlas de la pesca artesanal del mar del Perú*. Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Institut de Recherche pour le Développement (IRD). <https://hdl.handle.net/20.500.12958/3167>
- MONTERO, P., COPPARI, M., BETTI, F., BAVESTRELLO, G. & DANERI, G. (2021). Feeding of *Aulacomya atra* under different organic matter sources (Autochthonous and Allochthonous) in a Chilean Patagonia fjord ecosystem. *Front. Mar. Sci.*, 8, 612406. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.612406>
- OYARZÚN, P. A., TORO, J. E., JARAMILLO, R., GUIÑEZ, R., BRIONES, C. & ASTORGA, M. (2011). Ciclo gonadal del chorito *Mytilus chilensis* (Bivalvia: Mytilidae) en dos localidades del sur de Chile. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 39(3), 512–525. <https://doi.org/10.3856/vol39-issue3-fulltext-11>
- PEREA DE LA MATTA, Á. & BUITRÓN DÍAZ, B. (2004). Aplicación del método de congelación de ovarios para estimar la distribución espacial de cardúmenes desovantes de anchoveta. *Inf Inst Mar Perú*, 32(2), 123-126. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/1805>
- PÉREZ, A. F., BOY, C. C., CURELOVICH, J. N., PÉREZ-BARROS, P. & CALCAGNO, J. Á. (2013). Relationship between energy allocation and gametogenesis in *Aulacomya atra* (Bivalvia: Mytilidae) in a sub-Antarctic environment. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 48(3), 459–469. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572013000300005>

RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 361-2024-PRODUCE. (2024).

*Establecer la veda reproductiva del recurso choro (Aulacomya atra) en el litoral peruano, desde las 00:00 horas del día 8 de setiembre hasta el 30 de noviembre de 2024, quedando prohibida su extracción, transporte, procesamiento comercialización, y/o almacenamiento.* Ministerio de la Producción. <https://acortar.link/oYGB0o>

RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 002-2026-PRODUCE. (2026).

*Desarrollo de la actividad extractiva del recurso choro (Aulacomya atra) durante el año 2026 en el ámbito marítimo adyacente a los departamentos de Moquegua y Tacna.* Ministerio de la Producción. <https://acortar.link/d7kFap>

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ [SENAMHI] & COMISIÓN MULTISECTORIAL ENCARGADA DEL ESTUDIO NACIONAL DEL FENÓMENO EL NIÑO [ENFEN]. (2024). *Componente Atmosférica: Monitoreo de Condiciones El Niño y Pronóstico Subestacional* (Informe Técnico SENAMHI-ENFEN N°08-2024: agosto 2024). <https://hdl.handle.net/20.500.12542/3717>

TORTORELLI, M. C. (1987). *Contribución al estudio de los ciclos reproductivos del mejillón patagónico Mytilus chilensis Hupé, y de la cholga Aulacomya ater (Molina) en el Canal Beagle* [Tesis de Doctorado, Universidad de Buenos Aires]. Biblioteca Digital UBA. [https://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis\\_n2172\\_Tortorelli](https://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n2172_Tortorelli)

VAN OVERZEE, H. M. J. & RIJNSDORP, A. D. (2015). Effects of fishing during the spawning period: Implications for sustainable management. *Rev Fish Biol Fisheries*, 25, 65–83. <https://doi.org/10.1007/s11160-014-9370-x>

## Agradecimientos

Agradezco al Laboratorio Costero de Camaná y a la sede central del Instituto del Mar del Perú (IMARPE), en especial al Laboratorio de Biología Reproductiva, por la formación recibida en técnicas de histología y análisis gonadal. Extiendo mi reconocimiento a Javier Sánchez, Javier Castillo, Grecia Chávez y Antonio Cuba, quienes con su enseñanza y orientación contribuyeron al fortalecimiento de mis capacidades en el estudio de invertebrados y peces. Asimismo, agradezco a Stevens Lucero por gestionar el envío de las muestras procedentes de Matarani, lo cual fue fundamental para el desarrollo de la presente investigación.

## Rol de los autores

**Carmen Yauri:** Conceptualización, Metodología, Procesamiento histológico, Análisis formal, Redacción - borrador original, Redacción - revisión y edición. **Sarita Campos-León:** Validación, Revisión y edición, Verificación del guion de análisis. **Betsy Buitrón:** Revisión crítica, Redacción - revisión y edición, Interpretación de resultados. **Miguel Berrú:** Recolección de muestras, Validación, Revisión del manuscrito.

## Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses relacionados con la presente 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

El presente estudio no contó con financiamiento externo específico. Fue desarrollado en el marco de las actividades de investigación del Instituto del Mar del Perú (IMARPE).