



Universidad Científica del Sur

Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas

Carrera de Biología Marina

“DESARROLLO GONADAL Y ESCALA DE MADUREZ DE *Aulacomya atra* (Bivalvia: Mytilidae) DURANTE EL AÑO 2014, EN EL LITORAL DE ILO, MOQUEGUA”

Tesis para optar el Título Profesional de:

Bióloga Marina

Presentado por:

Bach. ANGELA PAULA INCIO PÉREZ

LIMA - PERÚ

2018

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 23 de noviembre de 2018

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dra. Giovanna Elizabeth Sotil Caycho
Miembro: Blgo. Aldo Gonzalo Indacochea Mejia
Miembro: Blga. Betty Elena Shiga Oshige

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

“DESARROLLO GONADAL Y ESCALA DE MADUREZ DE *Aulacomya atra* (BIVALVIA: MITYLIDAE) DURANTE EL AÑO 2014, EN EL LITORAL DE ILO, MOQUEGUA”

Presentada por la Bachiller:

- **Ángela Paula Incio Pérez**

Para optar al Título Profesional de **Bióloga Marina**

Asesorada por:

- **Blgo. Miguel Ángel Perea de la Matta**

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de los estudiantes en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple () calificar a:

Ángela Paula Incio Pérez			Nota (escrito): BUENA
Aprobado (X)	Aprobado - Muy buena ()	Aprobado - Sobresaliente ()	Desaprobado ()

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.


Presidente del Jurado


Miembro del Jurado


Miembro del Jurado


Asesor

INDICE

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

RESUMEN

SUMMARY

I. REVISIÓN DE LA LITERATURA

1.1 Descripción taxonómica y morfológica

1.2 Distribución y hábitat

1.3 Pesquería

1.4 Parámetros abióticos

1.5 Aspectos reproductivos

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Colecta de muestras

2.2 Procesamiento histológico

2.3 Análisis de datos

2.3.1 Biometría

2.3.2 Proporción Sexual

2.3.3 Determinación de las fases de madurez gonadal

2.3.4 Frecuencia relativa de fases de madurez

2.3.5 Índice de actividad reproductiva e índice de actividad desovante/expulsante

2.3.6 Talla de madurez gonadal

2.3.7 Factor de Condición

2.3.8 Temperatura del agua en la zona de estudio

III. RESULTADOS

3.1 Biometría

3.2 Proporción sexual

3.3 Descripción histológica de la gónada

3.3.1 Ovogénesis

3.3.2 Espermatogénesis

3.4 Descripción de la escala de madurez

3.4.1 Hembras

3.4.2 Machos

3.5 Determinación de la frecuencia de fases

3.5.1 Hembras

3.5.2 Machos

3.6 Determinación del índice de actividad reproductiva

3.7 Determinación del índice de actividad desovante y expulsante

3.8 Determinación de la talla de madurez gonadal

3.9 Determinación del factor de condición

3.10 Relación de la temperatura y variables biológicas

IV. DISCUSIONES

V. CONCLUSIONES

VI. RECOMENDACIONES

VII. BIBLIOGRAFÍA

VIII. ANEXOS

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. A: Lado interno y externo de *Aulacomya atra* en donde se observa la morfología de las valvas (fotografía: FAO). B: Morfología externa de las valvas de *Aulacomya atra* (fotografía: IMARPE).

Figura 2. Distribución de *Aulacomya atra* en América del Sur (FAO, 2017).

Figura 3. Desembarque en TM del recurso *Aulacomya atra* en Perú de 1953 a 2006 indicando los periodos e intensidad de eventos “El Niño”.

Figura 4. Mapa del área de estudio, Ilo, Moquegua, Perú.

Figura 5. Vista de la obtención de los individuos de *Aulacomya atra* usando un cuadrante de 50x50 cm en el litoral de la provincia de Ilo – Moquegua.

Figura 6. Ciclo de madurez gonadal de hembras de *Aulacomya atra*. Ov: Ovogonia, Ol: Ovocito inmaduro, OEM: Ovocito en maduración, OM: Ovocito maduro, OA: Ovocito atrésico

Figura 7. Ciclo de madurez gonadal de machos de *Aulacomya atra*. Eg: Espermatogonio, Ec: Espermatocito, Ez: Espermatozoide.

Figura 8. Diagrama de cajas de la longitud total (mm) de *Aulacomya atra* durante el año 2014.

Figura 9. Proporción sexual mensual de *Aulacomya atra* durante el año 2014.

Figura 10. Fotografía macroscópica del lóbulo gonadal de hembra (A) y macho (B) de la especie *Aulacomya atra*, observándose la coloración distintiva. Dónde: LG: Lóbulo gonadal; M: Manto.

Figura 11. Micrografía de lóbulo gonadal femenino en fase 0 (virginal) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 200X, (B) 400X. PG: Pared gonadal, TC: Tejido conjuntivo, F: Folículo ovárico, Ov: Ovogonia.

Figura 12. Micrografía de lóbulo gonadal femenino en fase II (en maduración) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 40X, (B) 200X, (C) 400X. PG: Pared gonadal, TC: Tejido conjuntivo, F: Folículo ovárico, Ol: Ovocito inmaduro, OEM: Ovocito en maduración, OM: Ovocito maduro.

Figura 13. Micrografía de lóbulo gonadal femenino en fase III (maduro) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 40X, (B) 200X, (C) 400X. PG: Pared gonadal, FT: Pared folicular, Ol: Ovocito inmaduro, OEM: Ovocito en maduración, OM: Ovocito maduro.

Figura 14. M Micrografía de lóbulo gonadal femenino en fase IV (desovante) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 40X, (B) 100X, (C) 200X. PG: Pared gonadal, TC: Tejido conjuntivo, PF: Pared folicular, Ol: Ovocito inmaduro, OM: Ovocito maduro, OEM: Ovocito en maduración.

Figura 15. Micrografía de lóbulo gonadal femenino en fase V (recuperación) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 40X, (B) 100X, (C) 400X. PG: Pared gonadal, TC: Tejido conjuntivo, Ol: Ovocito inmaduro, OM: Ovocito maduro, OA: Ovocito atrésico.

Figura 16. Micrografía de lóbulo gonadal femenino en fase I (reposo) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 40X, (B) 200X, (C) 400X. PG: Pared lobular, TC: Tejido conjuntivo, F: Folículo ovárico, OM: Ovocito maduro, Ol: Ovocito inmaduro, Ov: Ovogonia.

Figura 17. Micrografía de lóbulo gonadal masculino en fase 0 (virginal) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 40X, (B) 200X, (C) 630X. TC: Tejido conjuntivo, PG: Pared gonadal, T: Túbulo, Eg: Espermatogonia.

Figura 18. Micrografía de lóbulo gonadal masculino en fase II (en maduración) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 40X, (B) 100X, (C) 400X. PG: Pared gonadal, TC: Tejido conjuntivo, T: Túbulo, Eg: Espermatogonia, Ec: Espermatocito.

Figura 19. Micrografía de lóbulo gonadal masculino en fase III (maduro) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 40X, (B) 200X, (C) 400X. T: Túbulo, PL: Pared lobular, Eg: Espermatogonia, Ec: Espermatocito, Ez: Espermatozoide.

Figura 20. Micrografía de lóbulo gonadal masculino en fase IV (expulsante) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 40X, (B) 100X, (C) 400X. T: Túbulo, PL: Pared lobular, TC: Tejido conjuntivo, Eg: Espermatogonia, Ec: Espermatocito Ez: espermatozoide.

Figura 21. Micrografía de lóbulo gonadal masculino en fase V (post-expulsión) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 40X, (B) 200X, (C) 630X. T: Túbulo, PG: Pared gonadal, TC: Tejido conjuntivo, Eg: Espermatogonia, Ec: Espermatocito.

Figura 22. Micrografía de lóbulo gonadal masculino en fase I (Reposo) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 40X, (B) 200X, (C) 630X. PG: Pared gonadal, TC: Tejido conjuntivo, F: Folículo

Figura 23. Frecuencia relativa por fase de madurez gonadal de *Aulacomya atra* durante el 2014, en Ilo, Moquegua.

Figura 24. Frecuencia relativa por fase de madurez gonadal en hembras de *Aulacomya atra* durante el 2014, en Ilo, Moquegua.

Figura 25. Frecuencia relativa por fase de madurez gonadal en machos de *Aulacomya atra* durante el 2014, en Ilo, Moquegua.

Figura 26. Índice de actividad reproductiva (IAR) mensual de hembras y machos de *Aulacomya atra* durante el 2014, en Ilo, Moquegua.

Figura 27. Índice de actividad desovante y expulsante (IAD/IAE) mensual de hembras y machos de *Aulacomya atra* durante el 2014, en Ilo, Moquegua.

Figura 28. Curva logística de la talla de madurez de hembras del recurso *Aulacomya atra* durante el 2014, en Ilo, Moquegua.

Figura 29. Curva logística de la talla de desove de hembras del recurso *Aulacomya atra* durante el 2014, en Ilo, Moquegua.

Figura 30. Factor de condición mensual de hembras (izquierda) y machos (derecha) de *Aulacomya atra* durante el 2014, en Ilo, Moquegua.

Figura 31. Variación de la temperatura superficial del mar (TSM) y la fracción de hembras desovantes y machos expulsantes de *Aulacomya atra* durante el 2014, en Ilo, Moquegua.

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de ejemplares de “choro” *Aulacomya atra* por sexo colectados durante los 10 meses de muestreo en la localidad de Ilo en el año 2014.

Tabla 2. Criterios para la clasificación de fases de madurez gonadal en hembras de *Aulacomya atra*. Ov: Ovogonia, Ol: Ovocito inmaduro, OEM: Ovocito en maduración, OM: Ovocito maduro, OA: Ovocito atrésico.

Tabla 3. Criterios de clasificación de fases de madurez gonadal en machos de *Aulacomya atra*. Eg: espermatogonio, Ec: espermatocito, Et: espermátide, Ez: Espermatozoide.

Tabla 4. Valores de media aritmética de la longitud total, desviación estándar (DS), varianza y coeficiente de variación (CV), de *A. atra*, Donde: H: Hembras, M: Machos, *: Datos con CV >20%, no son homogéneos.

Tabla 5. Proporción sexual de *A. atra* por mes durante el año 2014 en la región Moquegua.

Tabla 6. Caracterización de los tipos de células sexuales femeninas de *Aulacomya atra*.

Tabla 7. Caracterización de los tipos de células sexuales masculinas de *Aulacomya atra*.

RESUMEN

En las últimas décadas, debido a la fuerte presión pesquera sin regulación y al impacto negativo ante los eventos “El Niño”, el recurso *Aulacomya atra* ha reducido su distribución y disminuido su abundancia, profundizándose y limitando su extracción. La falta de información actualizada sobre los aspectos reproductivos para su adecuado manejo pesquero han sido uno de los problemas claves en la pesquería de este recurso, cuya extracción pasó de 16 TM en 1976 a 5.8 TM en 2014.

El objetivo de este trabajo fue calcular los principales índices reproductivos para *Aulacomya atra* de la zona de Ilo, Moquegua durante el 2014, estimar su talla de madurez y describir su desarrollo gonadal, el cual se basó en un análisis histológico de 931 ejemplares durante 10 meses. Además, se calculó la proporción sexual, se realizó la descripción de la gametogénesis en hembras y machos, y la elaboración de una escala de madurez gonadal microscópica, se halló la frecuencia por fases de madurez gonadal, se calcularon los índices de actividad reproductiva, fracción desovante/expulsante, factor de condición y se estimó la talla de madurez gonadal.

Los resultados evidenciaron una proporción sexual de 1:0,84 hembras respecto a machos, influenciada por el mes de diciembre, en donde además hubo una elevada presencia de organismos indiferenciados. El análisis histológico confirmó que esta especie es dioica, con algunos casos de hermafroditismo, y reproducción parcial. Las hembras presentaron gonadas con tonalidades café/violáceo mientras que en machos fueron amarillo/crema. Se observó la infiltración del tejido gonadal en la cavidad del manto durante la época de mayor actividad reproductiva y en organismos con algún grado de madurez. Se describió una escala histológica de 6 fases: virginal (0), en maduración (II), maduro (III), desovante/expulsante (IV), recuperación/post-expulsante (V) y reposo (I) para hembras y machos. Las frecuencias relativas por fase de madurez gonadal mostraron una marcada presencia de organismos maduros (III) durante todo el del año y desovantes/expulsantes (IV) durante la primavera; con importantes proporciones de organismos en fase V (recuperación/post-expulsante) y I (reposo) en diciembre para hembras; y, en junio y noviembre para machos. Los valores mensuales del índice de actividad reproductiva y de fracción desovante mostraron sus valores más altos durante la primavera, de 100% y 59%, respectivamente, de igual modo el factor de condición fue elevado durante estos meses. La talla de madurez fue calculada a los 38.5 mm de longitud valvar en hembras. Se halló una relación directa entre el inicio de la maduración y desove/expulsión con la disminución de la temperatura.

PALABRAS CLAVE: *Aulacomya atra*, choro, índices reproductivos, escala de madurez gonadal, talla de madurez gonadal.

SUMMARY

In the last decades, due to the uncontrolled fishing pressure and the negative impact of "El Niño" events, *Aulacomya atra*'s distribution has changed, its abundance has decreased, and it has deepened limiting its extraction. The lack of up-to-date information on reproductive aspects for proper fisheries management is the key problem of this fishery, whose extraction went from 16 MT in 1976 to 5.8 MT in 2014.

The objective of this work was to calculate the main reproductive indexes for *Aulacomya atra* from Ilo, Moquegua during the 2014, to estimate their maturity size and to describe their gonadal development, based on the histological analysis of 931 specimens for 10 months. In addition, sex ratio was calculated, the gametogenesis for females and males was described, also developing a microscopic gonadal maturity scale, the frequency by stages of gonadal maturity was identified, the rates of reproductive activity, spawning/expelling fraction and condition factor were estimated.

The results showed a sex ratio of 1: 0,84 females to males, influenced by december, because of the high presence of undifferentiated organisms. Histological analysis confirmed that this specie is dioic, with some cases of hermafroditism, and partial reproduction. Females exhibit coffee/purplish tones while males were yellow/cream. Infiltration of the gonadal tissue in the mantle cavity during the period of greatest reproductive activity and in organisms with some maturity degree was observed. A histological scale of 6 stages was described: virgin (0), at rest (I), maturation (II), mature (III), spawning / expelling (IV) and recovery / post-expelling (V) for females and males. Relative frequencies per phase of gonadal maturity showed a marked presence of mature (III) organisms throughout the year and spawners/expellers (IV) during spring; with important proportions of organisms in phase V (recovery / post-expelling) and I (rest) in december for females; and, in june and november for males. Monthly values of the reproductive activity index and spawning/expelling fraction showed their highest values during the spring, with a 100% and 59%, respectively, also the condition factor was elevated during these months. Size of maturity was calculated at 38.5 mm of valve length in females. A direct relationship between the onset of maturation and spawning / expelling was found with the decrease in temperature.

KEY WORDS: *Aulacomya atra*, choro, reproductive indexes, gonadal maturity scale, gonadal maturity size.

INTRODUCCIÓN

Aulacomya atra (Molina, 1782) es un molusco bivalvo perteneciente a la familia Mytilidae, comúnmente conocido como “choro” en Perú y “cholga” en Chile. Se encuentra por lo general en aguas poco profundas adheridos a distintos tipos de sustratos, preferentemente duros, hasta los 40 metros de profundidad, y se distribuye tanto en el Océano Atlántico como en el Pacífico (Griffiths, 1977; Cancino y Becerra, 1978; Álamo y Valdivieso, 1997; Gamarra y Cornejo, 2002; Zaixso, 2004).

Este recurso es de gran importancia ecológica, como sustrato de algas y animales, fuente de alimento de gasterópodos, asteroideos y aves marinas; y como hospedador de organismos parásitos, comensales y perforantes (Zaixso, 2013; Sepúlveda *et al.*, 2016); y económica cumpliendo un rol fundamental, siendo de fácil accesibilidad y de gran abundancia, lo cual es favorable para la pesquería artesanal. En Perú, se empezó con la extracción de esta especie en la década de los 60, mediante la implementación de técnicas de buceo, presentando volúmenes máximos de extracción en la década de los 70, con una tendencia decreciente posterior a estos años (GEF-ONUDI-IMARPE-IFOP, 2002; Cavero y Rodríguez, 2008; FAO, 2017).

Debido a las anomalías positivas de la temperatura superficial del mar (TSM) y a la actividad extractiva sin control, las densidades de este recurso han variado a través del tiempo, afectando su distribución y densidad en los distintos bancos del litoral peruano, siendo las poblaciones ubicadas en la zona central (11-12°S) las más afectadas (Soenens, 1984; Tarazona *et al.*, 1987; Díaz y Ortileb, 1993; Álamo y Valdivieso, 1997; Cornejo y Gamarra, 1998; Gamarra y Cornejo, 2002). La falta de información actualizada que sustente las medidas regulatorias actuales vinculadas a la extracción (Resolución Ministerial N° 209-2001-PE) han favorecido la intensidad del impacto negativo provocando la profundización del recurso, a pesar de cumplir un rol ecológico fundamental en la comunidad que se desarrolla (Soenens, 1984), ya que proporcionan un sustrato adecuado para el asentamiento de una comunidad altamente diversa (algas y animales), es alimento de gasterópodos, asteroideos y aves marinas y hospedador de varias especies de organismos parásitos, comensales y perforantes (Zaixso 2003).

A pesar de la necesidad de conocer sobre los aspectos reproductivos de esta especie, luego del evento climático “El Niño” 1997-98, en Perú, no se han realizado estudios que proporcionen información sobre los aspectos antes mencionados, limitando el conocimiento de la condición actual del recurso. Estudios sobre la biología y el comportamiento reproductivo de las poblaciones peruanas de *Aulacomya atra* fueron realizadas en Callao y Huarney (Alarcón y Valdivieso, 1985; Ishiyama y Guerrero, 1998), no contando con estudios en la parte sur, a pesar de la presencia de un importante stock

de interés comercial y ecológico (Tejada y Baldarrago, 2016). De acuerdo con esto, es imprescindible contar con información reproductiva actualizada, que permita realizar predicciones sobre el reclutamiento, establecimiento de vedas y determinación de tallas mínimas que sustenten o respalden futuras medidas regulatorias y que brinden sostenibilidad a esta pesquería.

El presente trabajo de tesis tuvo como objetivo evaluar los principales indicadores reproductivos, y describir la gametogénesis de la especie referida en la zona de Ilo, Moquegua durante el año 2014. Se calculó la proporción sexual, la cual reflejó el potencial reproductivo y equilibrio de la muestra; se describió la escala de madurez gonadal microscópica mediante procesamiento histológico, identificando la madurez individual mediante análisis microscópico; se estimó la talla de madurez, indicador básico para determinar la talla mínima de captura, asegurando la reproducción y mantenimiento sostenible de la biomasa. Todos estos aspectos brindaron información necesaria que podría ser considerada como parte de un plan de monitoreo biológico-pesquero, en el que se reevalúen las medidas de extracción planteando un manejo adaptativo.

Los resultados de este trabajo proveerán valiosa información que posibilitaría la recuperación de las poblaciones en la zona sur, de acuerdo con lo antes mencionado, con mayor impacto en la provincia de Ilo, en donde hay una fuerte y sostenida presión pesquera.

I. MARCO TEÓRICO

1.1 DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA

Aulacomya atra (Molina, 1782), anteriormente conocido como *Aulacomya ater*, es un molusco bivalvo marino perteneciente a la familia Mytilidae comúnmente conocido como “choro” en Perú y “cholga” en Chile, la cual comprende aproximadamente 33 géneros y unas 250 especies distribuidas mundialmente en las franjas intermareales y submareales de mares templados. En Perú, solo se encuentra la especie *A. atra*. (Molina, 1782).

Presenta una concha mitiliforme, con el borde ventral cóncavo ligeramente abierto para dar salida al biso, y el borde dorsal más prominente hacia la mitad posterior de la valva. La morfología externa de las valvas presenta marcadas estrías concéntricas de crecimiento y costillas radiales, de coloración variable, entre negro, negro–violáceo, azulado o café. Los umbos son curvados y puntiagudos, y la charnela tiene un único diente en la valva izquierda. La cara interna de cada valva es nacarada, con tonos violáceos y rosados. Posee un pie reducido. (Guzmán *et al.*, 1998; Zúñiga, 2002) (Fig.1).

Reino: Animalia

Filo: Mollusca

Clase: Bivalvia

Subclase: Pteriomorphia

Orden: Mytilida

Superfamilia: Mytiloidea

Familia: Mytilidae

Subfamilia: Mytilinae

Género: *Aulacomya* (Mörch, 1853)

Especie: *Aulacomya atra*

Nombre Científico: *Aulacomya atra* (Molina, 1782)

Nombre Común: “Choro”, “Cholga”

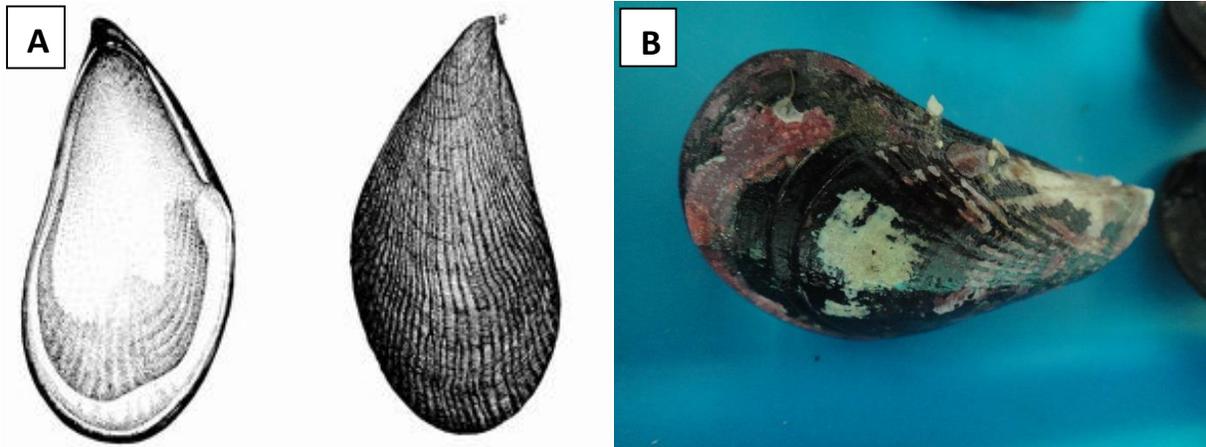


Figura 1. A: Lado interno y externo *Aulacomya atra* en donde se observa la morfología de las valvas (fotografía: FAO). B: Morfología externa de las valvas de *Aulacomya atra* (fotografía: IMARPE).

1.2 DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT

Aulacomya atra se distribuye en el Pacífico, desde Callao (Perú) hasta el Estrecho de Magallanes (Chile), y en el Atlántico, desde el sur de Argentina hasta el sur de Brasil (Soot-Ryen, 1959; Marincovich, 1973; Cancino y Becerra, 1978; Navarro y Gutiérrez, 1990; Zaixso, 2004), incluyendo dentro de su distribución las costas de Sud-África (Griffiths, 1977) (Fig. 2). Soenens (1984) menciona que *A. atra*, debido al Evento El Niño 1982 – 1983, cambió su distribución, ubicándose a partir de Pisco, Ica, ya que los conglomerados ubicados al norte colapsaron; mientras que, Álamo y Valdivieso (1997) lo ubica a partir de Chimbote, Ancash, evidenciando la recuperación de algunos.

Este molusco bivalvo bentónico costero puede encontrarse adherido a todo tipo de sustratos rocosos verticales desde la zona media intermareal e infralitoral, preferentemente sobre los 20 metros de profundidad, hasta los 25 metros (Gamarra y Cornejo, 2002; Zaixso, 2004) con un máximo de 40 metros (Soot-Ryen, 1959), en colchones estudiados en los Océanos Pacífico y Atlántico.

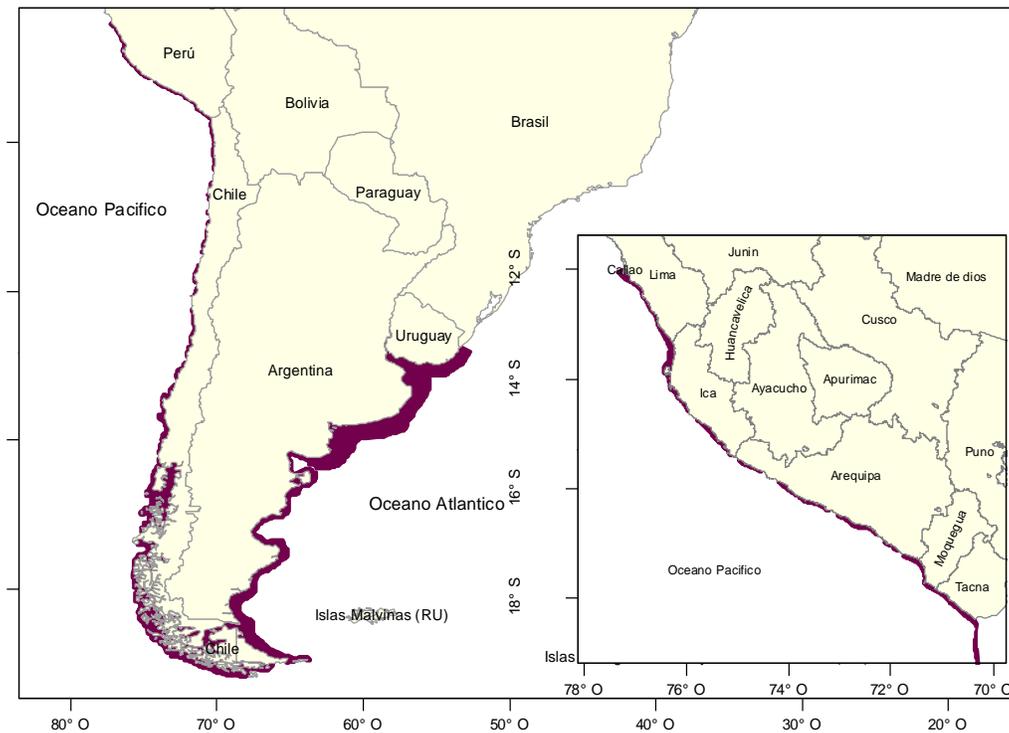


Figura 2. Distribución de *Aulacomya atra* en América del Sur (FAO, 2017).

1.3 PESQUERÍA

Desde los años 50 a la actualidad, la especie registra una tendencia decreciente en su tamaño poblacional, tanto en el litoral peruano como chileno (FAO, 2017). Un ejemplo de ello fue la desaparición de los conglomerados de mitílicos de Huacho, así como la reducción de la densidad de los conglomerados en Pisco (Soenens, 1984); que para el año 1998 ya se encontraban recuperados (Ishiyama y Guerrero, 1998). Esta disminución tuvo como principales causas la explotación pesquera sin medidas de control e impactos climáticos como el evento “El Niño” (Cavero y Rodríguez, 2008).

La pesquería de *A. atra*, históricamente, ha sido una de las más importantes actividades extractivas de la zona de Ilo, siendo ésta muy consumida a nivel local, generando grandes beneficios sobre todo para los pescadores artesanales. Entre las décadas de los años 40 y 60, se implementó el buceo como arte de pesca para su captura, mejorándose el sistema de extracción en los años posteriores. Estas mejoras trajeron consigo un aumento de los volúmenes de pesca provocando una disminución en la población. Las capturas máximas registradas en el litoral peruano fueron de 13, 14 y 16 TM aproximadamente en 1972, 1973 y 1976, respectivamente (GEF-ONUDI-IMARPE-IFOP, 2002; Cavero y Rodríguez, 2008) mientras que a nivel global fueron de 30 y 33

TM en 1967 y 1976, respectivamente (FAO, 2017). Sin embargo, estas capturas fueron sostenibles hasta los años 70, ya que posteriormente, con la constante innovación en las técnicas de extracción, la lenta recuperación de los bancos de mitílicos y la continua captura, redujeron la población disponible para la pesca.

En la década de los años 90 se registró la captura más baja, 3.8 TM en Perú en 1991 (FAO, 2017), incrementándose entre 1998 – 2002 con 22 TM en toda su distribución como consecuencia de condiciones ambientales favorables debido al evento climático “La Niña”, reduciéndose posterior a estos años (GEF-ONUDI-IMARPE-IFOP, 2002; Cavero y Rodríguez, 2008; FAO, 2017) (Fig. 3). Datos más actuales indican que la extracción actual del recurso oscila entre 5 y 11 TM; no obstante, desde al año 2010 el desembarque ha ido disminuyendo progresivamente, registrándose 5.8 TM en 2014 y 4.4TM en 2015 (PRODUCE, 2016).

Debido a la preocupación del estado peruano frente a la explotación de los principales recursos marinos (peces e invertebrados) sin medidas de control, en el año 2001, mediante la Resolución Ministerial N°209-2001-PE, se establecieron las tallas mínimas de captura para las especies de importancia económica. Dentro del grupo de invertebrados a los cuales se les asignó talla mínima de extracción se encontró el recurso “choro” *Aulacomya atra*, asignándosele una talla mínima de 65 mm de longitud valvar (LV).

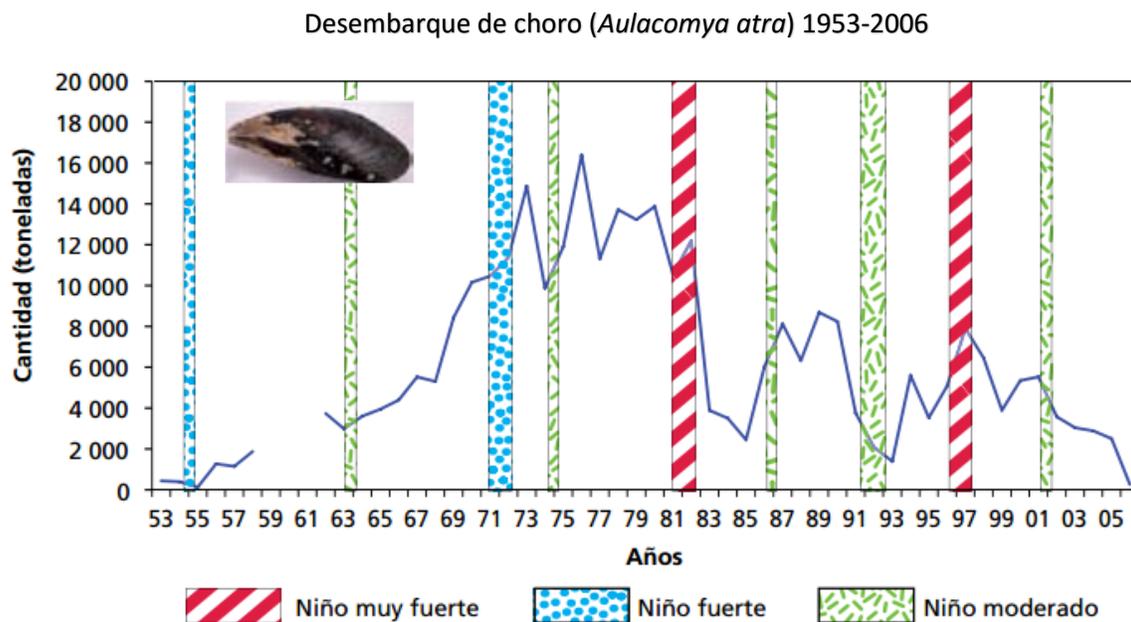


Figura 3. Desembarque en TM del recurso *Aulacomya atra* en Perú de 1953 a 2006 indicando los periodos e intensidad de eventos “El Niño”.

Fuente: IMARPE, en: Cavero y Rodríguez, 2008.

1.4 PARÁMETROS ABIÓTICOS

Al impacto generado por la industria pesquera, se sumaron los impactos biológicos generados por los eventos “El Niño”, ocurridos durante los años 1982 –1983 y 1997 – 1998 (Cornejo y Gamarra, 1998; Gamarra y Cornejo, 2002), los cuales redujeron la abundancia del recurso en los bancos naturales de diferentes zonas peruanas y chilenas.

Respecto a los cambios registrados durante el evento de “El Niño” 82-83, se evidenció que los bancos de mitílidos de la especie estudiada fueron fuertemente afectados, al igual que las poblaciones de algas pardas, lo cual parece estar relacionado a la latitud, correntada, profundidad y presencia de pequeños afloramientos, siendo los individuos “juveniles” los primeros afectados. Un efecto evidente en las comunidades de gasterópodos y bivalvos fue la disminución de disponibilidad de larvas durante la temporada de verano, las cuales tuvieron preferencias de selección de sustrato y asentamiento durante los meses más fríos. El estudio realizado por Tarazona *et al.* (1987) hace referencia de la relación entre la presencia de las algas pardas (*Lessonia spp.* y *Macrocystis pyrifera*), la tasa asentamiento larval y recolonización de *A. atra*. Es así, que, la mayoría de los conglomerados de choro frente a Huacho y Pisco desaparecieron, salvo los bancos de las zonas de la costa sur (Mollendo e Ilo) lo cual coincidió con el restablecimiento de *Lessonia spp.* y *Macrocystis spp.* (Tarazona *et al.*, 1987, Díaz y Ortileb, 1993). Favorablemente, los bancos de Pisco llegaron a recuperarse, sin embargo, los bancos de Huacho no presentaron una tasa de asentamiento larval adecuada para la recuperación (Soenens, 1984).

Las anomalías positivas de la TSM del evento “El Niño” 1997-1998 tuvo como consecuencia la disminución de la abundancia de los bancos, sin embargo, el impacto negativo sobre estos organismos fue de menor intensidad que el registrado en “El niño” 1982-1983 (Gamarra y Cornejo, 2002). El principal efecto de este episodio climatológico fue la alteración en la estacionalidad, intensidad y frecuencia en la tasa de asentamiento de algunos mitílidos, entre ellos *A. atra*, la cual además tiene una relación directa con la disponibilidad de clorofila-a en el medio (Belapatiño, 2007). Se considera que los bancos de *A. atra* aún no se han recuperado por completo, presumiblemente debido a la constante presión por parte de la pesquería artesanal (Valle *et al.*, 2002).

La temperatura es uno de los factores más importantes relacionados con el inicio de la maduración de los gametos y comienzo de la actividad reproductiva, es decir, tiene una influencia directa sobre la o las épocas de reproducción. Numerosos estudios realizados en otros mitílidos han demostrado la estrecha relación de este parámetro con la gametogénesis, evidenciándose una relación positiva entre el descenso de la

temperatura y el inicio de la actividad reproductiva (Thorarinsdóttir *et al.*, 2004; Oyarzún *et al.*, 2010, 2011; Avendaño y Cantillán, 2012, 2014), mientras que otros sugieren que sería la disponibilidad de alimentos el factor más importante y desencadenante del inicio de la gametogénesis (Lozada 1968; Wolff, 1988).

1.5 ASPECTOS REPRODUCTIVOS

Contrariamente a lo que sucede en Perú, en Chile los estudios sobre aspectos reproductivos en mitílidos han sido ampliamente descritos debido a la importancia de estos para la maricultura.

La gametogénesis en bivalvos marino varía por especie, condiciones ambientales y edad (Sastry, 1979; Newel *et al.*, 1982; Gardner y Skibinski, 1990). Giese (1959) reportó que las especies que habitan en latitudes altas presentaban ciclos reproductivos anuales con desoves principalmente durante primavera-verano, mientras que en latitudes bajas los periodos de desove fueron largos y semi-anual o continuos.

En Chile se reconocen cinco fases de madurez gonadal en *A. atra*, registrándose individuos maduros y desovados durante todo el año, en el cual el periodo de desove reportado fue de noviembre a marzo (Lozada, 1968; Tomicic, 1968), con talla de madurez a los 65 mm de LV (Lozada, 1968). Estudios más recientes reportan dos periodos importantes de alta intensidad (ago – nov, dic – feb) coincidiendo con el descenso de la temperatura (Avendaño y Cantillán, 2014). Los ciclos gametogénicos, el efecto de la temperatura y la disponibilidad de alimentos sobre la maduración de los gametos y el desove, han sido descritos para las poblaciones tanto del sur como del norte, concluyéndose que el factor más importante para la gametogénesis y el desove es la disponibilidad de alimentos (Jaramillo y Navarro, 1995; Avendaño y Cantillán, 2012).

El desarrollo de las gónadas y la producción de gametos dependen de la disponibilidad de nutrientes en el medio y de las reservas de energía en el manto (Maloy, 2001). En ese sentido, la relación entre la reproducción y la asignación de energía fue estudiada en poblaciones argentinas de *A. atra*, dando a conocer el patrón de almacenamiento y uso de ésta en los diferentes órganos, identificando a la glándula digestiva y tejido conectivo inter-tubular como posibles suministros de energía durante la maduración de los gametos (Pérez *et al.*, 2013). Vinuesa y Tortorelli (1980) estudiaron el ciclo reproductivo de esta especie, realizando la descripción de una escala macroscópica de 6 fases, en poblaciones de Puerto Deseado (47°44'S), donde reportaron dos periodos de desove, uno en enero y otro en abril, sin relación directa con la temperatura del agua. El periodo de reposo fue observado entre los meses de marzo y mayo, pero con bajas frecuencias.

Por su parte, en Perú, el estudio de Alarcón y Valdivieso (1985) sobre el comportamiento sexual de *Aulacomya atra* del área del Callao, reportó continuos eventos reproductivos a lo largo del año, con época principal de desove de noviembre a enero. Ishiyama y Guerrero (1998), para la zona de Huarmey, Ancash, determinaron la talla de madurez a los 13.5 mm de LV, reportando dos periodos intensos de evacuación de gametos durante setiembre y febrero, hallando la influencia directa de la fluctuación de la temperatura del agua, la cual, al llegar a 19 °C en febrero y 15 °C en setiembre, favoreció la evacuación de gametos.

II. MATERIALES Y METODOS

2.1 COLECTA DE LA MUESTRA

Las muestras de *A. atra* fueron colectadas mensualmente, de febrero a junio y de agosto a diciembre del año 2014, provenientes de bancos naturales en la zona de Cuartel (17°41'10''S, 71°22'42''O) en la localidad de Ilo, Moquegua (Fig.4). Se registraron datos morfométricos como peso total, peso húmedo de tejido blando, longitud valvar; y reproductivos como sexo y fase de madurez gonadal, obtenidos del muestreo biológico y biométrico.

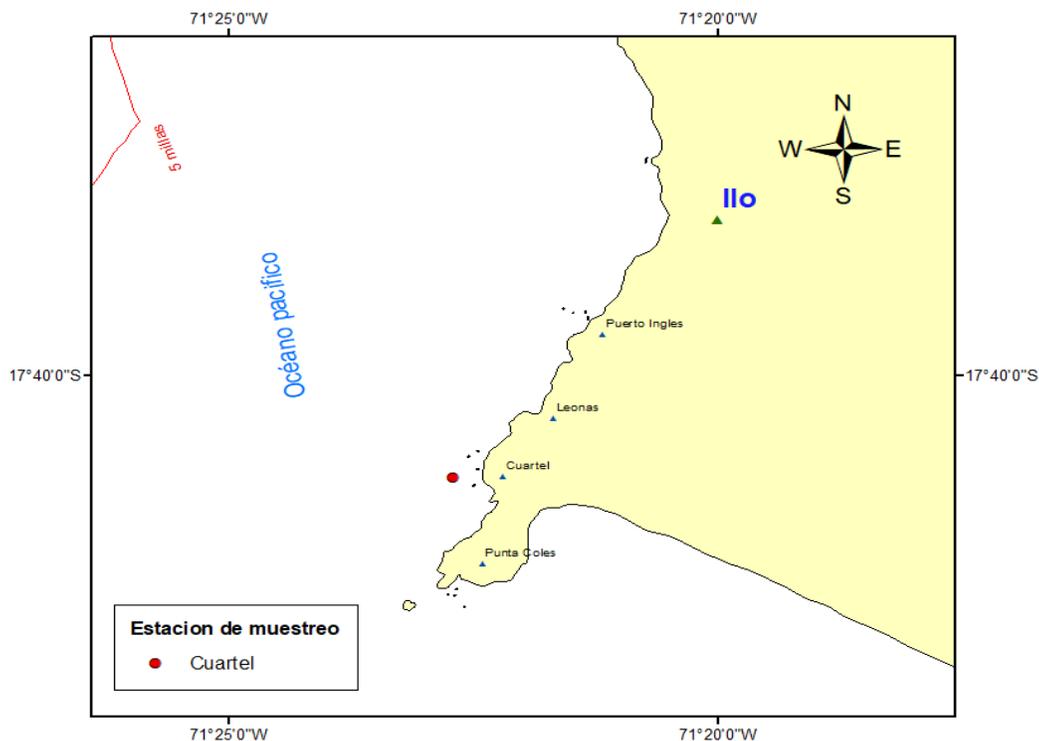


Figura 4. Mapa del área de estudio, Ilo, Moquegua, Perú.

La colecta de los individuos se realizó mediante buceo semi-autónomo. Los muestreos se realizaron sobre sustrato rocoso ubicados desde 300 a 700 metros de distancia a la costa, desde los 10 hasta 15 m de profundidad con un cuadrante de 50x50 cm, sin discriminar la densidad o tamaño de individuos en el sector seleccionado al azar (Fig. 5). Se tomaron 5 puntos de muestreo por cada salida, las cuales tuvieron una distancia de 100 metros entre cada una. Posteriormente, cada individuo fue fijado en alcohol al 80% con un rótulo respectivo en bolsas individuales y colocados en frascos con tapa enroscable para su posterior análisis en el Laboratorio de Biología Reproductiva en IMARPE, Chucuito, Callao.

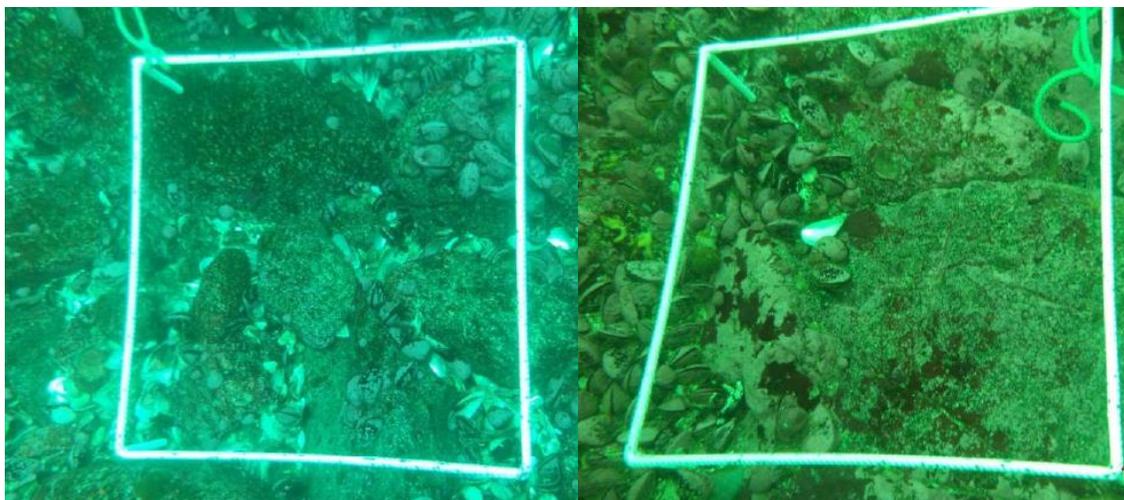


Figura 5. Vista de la obtención de los individuos de *Aulacomya atra* usando un cuadrante de 50x50 cm en el litoral de la provincia de Ilo – Moquegua.

Se analizaron un total de 931 ejemplares, identificándose organismos hembras, machos e indiferenciados que se detalla en la tabla 1. Las muestras analizadas microscópicamente fueron utilizadas para determinar la proporción sexual, calcular el índice de actividad reproductiva (IAR), la fracción desovante y expulsante (FD y FE) talla de madurez, así como para la descripción de la escala de madurez microscópica y el cálculo de la frecuencia relativa de fases.

Tabla 1. Número de ejemplares de *Aulacomya atra* por sexo colectados durante los 10 meses de muestreo en la localidad de Ilo en el año 2014.

Mes	Hembras	Machos	Indiferenciados	Total
Febrero	32	29	-	61
Marzo	29	32	-	61
Abril	49	37	12	98
Mayo	42	32	-	74
Junio	41	33	-	74
Agosto	64	60	-	122
Septiembre	39	31	-	70
Octubre	57	60	3	120
Noviembre	52	43	-	95
Diciembre	73	44	37	154
Total	478	401	52	931

2.2 PROCESAMIENTO HISTOLÓGICO

Una vez en el laboratorio, las muestras fueron identificadas y disectadas las zonas gonadales de cada individuo, realizando un corte en la zona media para obtener el lóbulo gonadal, obteniéndose secciones con tamaños variables en función a las tallas. El tamaño de los individuos osciló desde 20 hasta 90 milímetros de longitud valvar, cuyos máximos tamaños suelen pertenecer a organismos muy longevos (Griffiths y King, 1979), los que son poco frecuentes. Estas secciones fueron procesadas mediante el método de infiltración con parafina (Humanson, 1979), el cual se detalla a continuación:

Preparación de la muestra fijada: Se tomó el lóbulo gonadal completo, de cada uno de los individuos, cada lóbulo fue de tamaño variable en función a la talla, y se colocaron en cassettes porta-muestras de plásticos con un rótulo que identificó a cada individuo. Estos porta-muestras se colocaron en formol bufferado al 10%.

Deshidratación: Las muestras provenientes del formol, se colocaron en un procesador automático de tejidos previamente programado en donde se llevó a cabo este proceso. El tejido fue colocado durante 45 minutos en cada frasco de alcohol en concentraciones crecientes (70%, 80%₁, 80%₂, 90%₁, 90%₂, 100%₁, 100%₂).

Aclaramiento: Posterior a la deshidratación del tejido, se colocaron las muestras en xilol (C₆H₄(CH₃)₂) debido a la miscibilidad con el alcohol y con el medio de inclusión que se

utilizó. Este proceso lleva este nombre debido a que el tejido se torna claro posterior al contacto con la sustancia aclarante (Tresierra *et al.*, 2002). El tejido pasó por dos estaciones que contenían esta sustancia (X_1 y X_2), en donde se mantuvieron de 1 a 2 minutos en cada uno dependiendo del tamaño del tejido.

Infiltración con parafina: El tejido, proveniente del medio de aclaramiento, pasó por dos estaciones de parafina líquida a 60°C (P_1 y P_2), permaneciendo una hora en cada estación. Este proceso permite que la parafina reemplace al xilol y proporcione firmeza y sostén necesario para el corte en micrótomos de rotación.

Imbibición con parafina: El tejido proveniente de parafina líquida fue retirado de los cassettes porta-muestra y colocado en moldes de goma de 2 cm de lado, los cuales pasaron por un proceso de imbibición con parafina líquida a (60°C). Se dejó reposar y los bloques obtenidos fueron retirados 24 horas después.

Seccionamiento: Los bloques de parafina obtenidos fueron cortados en forma de trapecio con ayuda de una cuchilla manual. Para obtener las secciones histológicas se hizo uso de un micrótomos de rotación y cuchilla descartable para micrótomos de lomo angosto, realizando cortes de $7\ \mu\text{m}$ de espesor para hembras y $5\ \mu\text{m}$ para machos. Estas secciones se llevaron a un flotador de tejidos a 37°C de temperatura, donde se extendieron y se recogieron en láminas porta objetos previamente impregnadas con albúmina, para evitar el desprendimiento del tejido. Éstas, fueron secadas en una plancha de calentamiento y posteriormente rotuladas con un marcador punta de diamante.

Coloración: El proceso de coloración se llevó a cabo en un equipo automático de coloración en donde se siguió estrictamente el procedimiento del anexo 1 empleando hematoxilina y eosina (H y E). Se le agregó entellán y se realizó el montaje del tejido con una lámina cubreobjetos. Posteriormente, se realizó la descripción y análisis histológico con ayuda de un microscopio compuesto binocular Leica modelo DM2000 LED bajo un aumento de 40x, 100x.

Para complementar el análisis cualitativo de la gametogénesis de *A. atra* se identificó el tamaño promedio de los tipos de células (OI, OEM, OM), para esto, se tomó el diámetro mayor y menor y se calculó el diámetro medio de 50 ovocitos (los 50 primeros), los cuales debían poseer nucléolo visible, de 10 láminas por mes durante el periodo de estudio dando 6000 mediciones en total en un aumento de 40x utilizando una cámara fotográfica digital Leica modelo ICC50 HD y el programa de análisis de imágenes LAS V4.1, previamente calibrado con una reglilla micrométrica utilizada como muestra.

2.3 ANÁLISIS DE DATOS

2.1.1 Biometría

Se elaboró una base de datos para identificar la distribución de las tallas por mes (longitud valvar) y se construyó un diagrama de cajas con el programa R-Studio 2.15.3.

2.1.2 Proporción Sexual

La proporción sexual, indicador de equilibrio en una población, fue calculada excluyendo a los organismos con gónadas indiferenciadas ya que estos pueden ser virginales que aún no desarrollan tejido sexual o individuos en recuperación que no presentan restos de células. Una vez excluidos, se realizó la prueba del Chi-cuadrado (χ^2) con un nivel de significancia de 0.05, la cual fue empleada para validar estadísticamente la proporción sexual con un nivel de confianza del 95%, dando a conocer la proporción hembra:macho por mes. Las proporciones halladas fueron graficadas haciendo uso del programa R-Studio 2.15.3.

2.1.3 Determinación de Fases de Madurez Gonadal

Para la asignación de las fases de madurez gonadal, se realizaron observaciones directas sobre las preparaciones histológicas previamente obtenidas. Para esto, se tomaron en cuenta los criterios y nominaciones de las fases establecidos por Ortiz *et al.* (2008), basados en las recomendaciones elaboradas en el documento de Kjesbu *et al.* (2003).

Con el fin de estandarizar las escalas de madurez gonadal de los recursos hidrobiológicos de interés comercial en Perú, en este estudio se identificaron y establecieron los criterios a tomar en cuenta para la clasificación de hembras y machos (Tabla 2, 3) por fase de madurez, con los que se obtuvieron índices reproductivos más certeros.

Los criterios empleados, no solo estuvieron basados en los tipos de células identificadas en los folículos ováricos y túbulos del tejido gonadal, por la baja diferenciación de esta variable en las diferentes fases de madurez. También se tomaron en cuenta, el tamaño y llenura de estos, así como el grosor del tejido conectivo presente.

Tabla 2. Criterios para la clasificación de fases de madurez gonadal en hembras de *Aulacomya atra*. Ov: Ovogonia, OI: Ovocito inmaduro, OEM: Ovocito en maduración, OM: Ovocito maduro, OA: Ovocito atrésico.

Fases	Criterios de Clasificación							
	Tipo de célula presente					Grado de llenura del folículo	Tamaño del folículo	Tejido conectivo
	O	OI	OEM	OM	OA			
Virginal	++	+				+	+	+++
Reposo	+	+				+	+	+++
En Maduración		++	++	+		++	++	++
Maduro		+	++	+++		+++	+++	+
Desovante		+	++	++		++	+++	+
Recuperación		+	+	+	+	+	+	++

Leyenda:

- + =escaso
- ++ = moderado
- +++ = abundante

Tabla 3. Criterios de clasificación de fases de madurez gonadal en machos de *Aulacomya atra*. Eg: espermatogonio, Ec: espermatocito, Et: espermátide, Ez: Espermatozoide.

Fases	Criterios de Clasificación					
	Tipo de célula presente			Grado de llenura del folículo	Tamaño del folículo	Tejido conectivo
	Eg	Ec	Ez			
Virginal	+			+	+	+++
Reposo	+			+	+	+++
En Maduración	++	++		++	++	++
Maduro	+	+++	+	+++	+++	+
Expulsante	+	++	++	++	+++	+
Post-expulsante		+	+	+	+	++

Leyenda:

- + =escaso
- ++ = moderado
- +++ = abundante

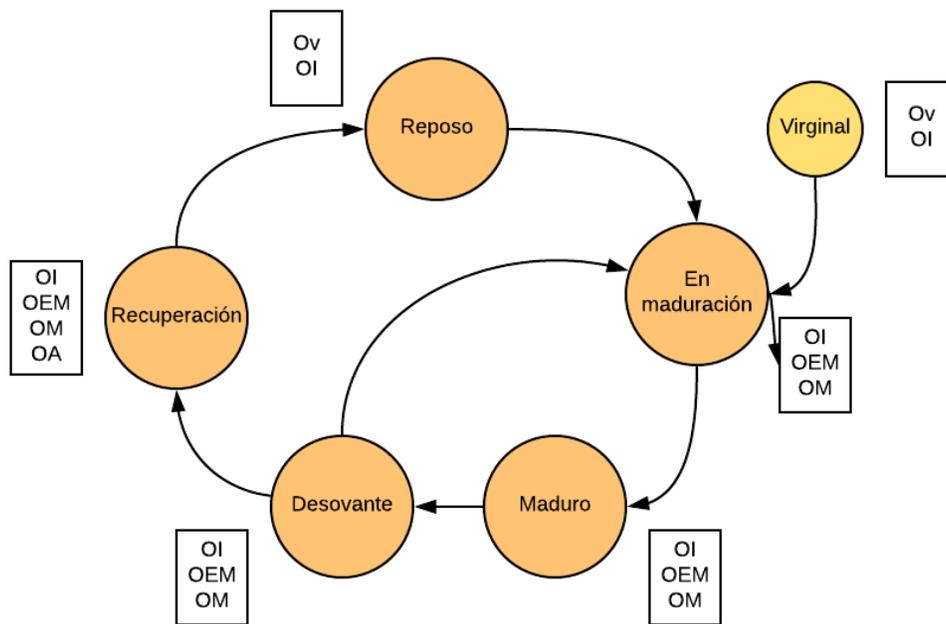


Figura 6. Ciclo de madurez gonadal de hembras de *Aulacomya atra*. Ov: Ovogonia, OI: Ovocito inmaduro, OEM: Ovocito en maduración, OM: Ovocito maduro, OA: Ovocito atrésico

Modificado de: Ortiz *et al.* 2008

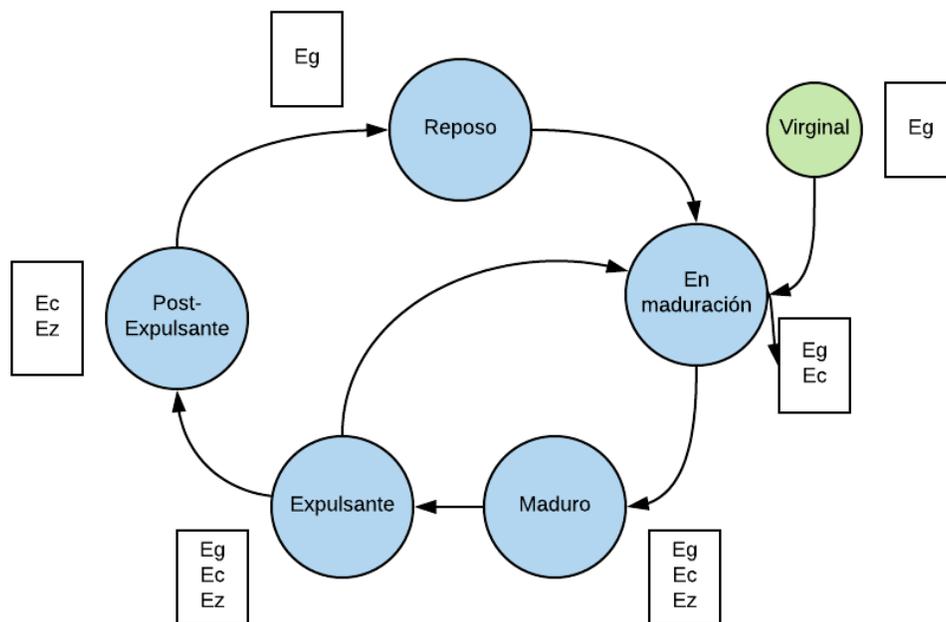


Figura 7. Ciclo de madurez gonadal de machos de *Aulacomya atra*. Eg: Espermatogonio, Ec: Espermatocito, Ez: Espermatozoide.

Modificado de: Ortiz *et al.* 2008

2.1.4 Frecuencia Relativa de fases de Madurez

La frecuencia relativa de las fases de madurez fue calculada por mes durante los 10 meses de estudio para hembras, machos y para el total de los individuos evaluados, con la ayuda del programa R-Studio 2.15.3. El número de organismos por mes se puede observar en la Tabla 1.

$$FR = \frac{N^{\circ} \text{ de individuos por fase}}{H_{tot}} \times 100$$

FR: frecuencia relativa (%)

H_{tot} : Suma de individuos de fases I al V.

2.1.5 Índice de actividad reproductiva e Índice de actividad desovante/expulsante

Uno de los indicadores más importantes para el óptimo desarrollo de un plan de manejo pesquero eficiente es la actividad reproductiva, ya que permite determinar el periodo o los periodos en el cual los organismos se encuentran gonadalmente activos en un área determinada. Es así, que, al calcular este índice, es posible proteger áreas importantes para los eventos reproductivos y proponer periodos de veda adecuados.

El índice de actividad reproductiva (IAR) fue calculado a partir de la siguiente fórmula:

$$IAR = \frac{Fase III + Fase IV}{H_{tot}} \times 100$$

Fase III: N° de organismos maduros

Fase IV: N° de organismos desovantes/expulsantes

H_{tot} : Suma de individuos de la fase I al V.

De la misma manera, se calculó el índice de actividad desovante/expulsante que se refiere a la fracción de organismos con desove o expulsión activa gametos mediante la siguiente expresión:

$$IAD/IAE = \frac{Fase IV}{H_{tot}} \times 100$$

Fase IV: N° de organismos desovantes/expulsantes

H_{tot} : Suma de individuos de la fase I al V.

Se calculó el IAR e IAD/IAE por sexo y por mes durante todo el tiempo de estudio para hembras y machos, utilizando el programa R-Studio 2.15.3 para hembras y machos.

2.1.6 Talla de madurez gonadal

La talla de madurez se define como la talla a la cual el 50% de los individuos se encuentran maduros, la cual a su vez está asociada a la edad de madurez. Así para cada talla existe una proporción de individuos que son maduros y otros que son inmaduros, siendo la talla considerada para este estudio la longitud valvar (LV) en mm.

Para la determinación de este parámetro reproductivo, sobre la base de una estructura de madurez hallada previamente, se ordenó a los individuos en función a su talla y madurez en dos vectores: inactivos (fase 0, I) y activos (fases II, III, IV y V), generando una proporción creciente en función de su talla. Las proporciones halladas, fueron ajustadas a una curva logística usando el software R de la siguiente forma:

$$\hat{P} = \frac{e^{\alpha + \beta L}}{1 + e^{\alpha + \beta L}}$$

La transformación logarítmica:

$$\ln \frac{\hat{P}}{1 - \hat{P}} = \alpha + \beta L$$

\hat{P} = proporción predicha de maduros
 α y β = Coeficientes de la ecuación logística
 L: edad o talla

Con el ajuste hallado, se obtuvo la ojiva de madurez que da cuenta del ($L_{50\%}$), el cual corresponde a la talla de madurez de esta especie.

2.1.7 Factor de condición

El factor de condición (FC) es una herramienta utilizada para evaluar el grado de bienestar de los organismos, relacionando el peso con la longitud. Este factor fue calculado para cada organismo, con el fin de hallar variación mensual y su relación con el ciclo reproductivo. Para ello, se tomaron individuos a partir de los 35 mm de longitud valvar, con la finalidad de considerar solo a la fracción adulta según la talla de madurez estimada.

La siguiente ecuación fue utilizada para determinar este índice:

$$FC = \frac{W_{tot}}{L^3} \times 100$$

W_{tot} : Peso total (gr)

L: Longitud valvar (mm)

2.1.8 Temperatura del agua en el área de estudio

La temperatura, como se ha mencionado anteriormente es uno de los factores más importantes con relación a la maduración de los gametos y comienzo de la época reproductiva.

Se recopiló información de la temperatura superficial del mar (TSM) de la zona de Ilo – Moquegua del año 2014, la cual fue proporcionada por el área de oceanografía del Instituto del Mar del Perú (IMARPE), registrándose diariamente, tres veces por día (08, 12 y 16 horas), y, cuyos valores fueron promediados por cada mes. Para medir el grado de asociación de la temperatura con el grado de madurez, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson, que mide el grado de co-variación entre distintas variables relacionadas linealmente, mediante un estadístico muestral.

III. RESULTADOS

3.1 ASPECTOS BIOMETRICOS

Con relación a la longitud valvar, se observó una mayor dispersión de talla durante los meses de abril, agosto, y de octubre a diciembre, con tallas entre los 20 y 91 mm en hembras, y entre los 23 y 84 mm en machos, coincidiendo con los meses donde hubo mayor número de muestra. Para estos meses, el coeficiente de variación (CV) presentó valores elevados, entre 22.2% y 24.6% para hembras, mientras que los machos el CV fue más variable y más alto, con 26.2% en agosto, 27.1% en octubre, 25.6% en noviembre y 31.9% en diciembre (Tabla 4), sugiriendo baja homogeneidad (Fig. 8).

A pesar de la amplitud del rango de tallas, la talla media de la muestra se encontró en 60 mm de longitud valvar. Durante el periodo febrero – junio, la talla media fue mayor a 60 mm; mientras que, de agosto a diciembre la talla media fue menor a los 60 mm, con excepción del mes de setiembre, donde se obtuvo el valor más alto, tal y como se observa en la tabla 4.

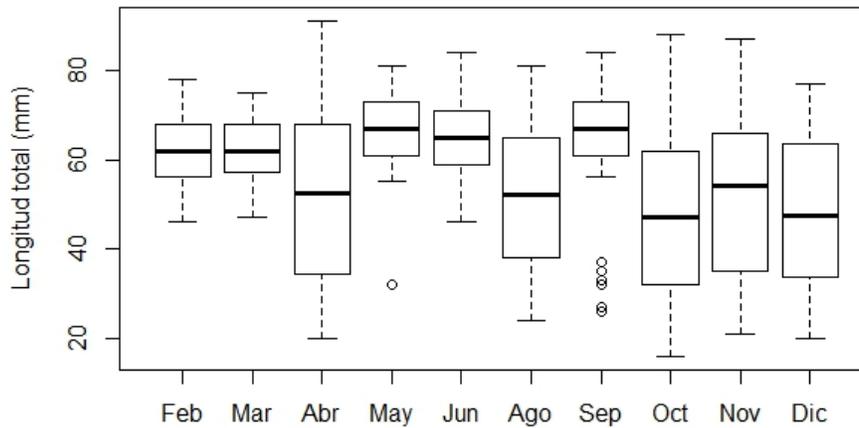


Figura 8. Diagrama de cajas de la longitud total (mm) de *Aulacomya atra* durante el año 2014.

Tabla 4. Valores de media aritmética de la longitud total, desviación estándar (DS), varianza y coeficiente de variación (CV), de *A. atra*, Donde: H: Hembras, M: Machos, *: Datos con CV >20%, no son homogéneos.

MES	SEXO	N ° DE MUESTRAS	LONGITUD VALVAR (mm)					
			Mínima	Máxima	Media	D.S.	Varianza	Coef. Variación
Febrero	H	32	50	72	60.34	7.15	51.2	11.85
	M	29	46	78	62.62	8.03	64.46	12.82
Marzo	H	29	54	74	63.59	5.57	31.04	8.76
	M	32	47	75	62.53	6.84	46.78	10.94
Abril	H	49	35	91	61.22	13.61	185.34	22.23*
	M	37	43	83	64.68	11.29	127.45	17.46
Mayo	H	42	55	81	68.64	6.82	46.53	9.94
	M	32	32	78	65.21	9.03	81.53	13.85
Junio	H	41	46	84	67.34	9.11	82.93	13.53
	M	33	53	84	63.24	7.53	56.75	11.91
Agosto	H	63	25	80	58.41	14.36	206.31	24.58*
	M	59	28	81	54.54	14.27	203.67	26.16*
Setiembre	H	39	56	84	69.26	7.28	52.98	10.51
	M	31	56	78	66	6.69	44.73	10.14
Octubre	H	58	30	88	56.84	13.28	176.41	23.36*
	M	59	24	79	55.29	14.97	224.04	27.08*
Noviembre	H	52	34	87	59.12	13.63	185.79	23.05*
	M	43	24	84	59.93	15.36	235.92	25.63*
Diciembre	H	73	20	77	56.53	13.48	181.64	23.85*
	M	44	23	76	51.34	16.35	267.49	31.85*

3.2 PROPORCIÓN SEXUAL

La proporción sexual por mes fue cercana a 1H:1M en la mayoría de los meses (Fig. 9, Tabla 5), con diferencias significativas en diciembre, donde esta fue de 1H:0.60M. En general, se obtuvo una relación de 1H:0.84M, evidenciando un número superior de hembras.

Tabla 5. Proporción sexual de *A. atra* por mes durante el año 2014 en la región Moquegua.

PERIODO MENSUAL	TOTAL				
	♀♀	♂♂	Total	Proporción sexual	Ji-cuadrado (>0.05)
				(♀:♂)	
Febrero	32	29	61	1:0.91	0.15
Marzo	29	32	61	1:1.10	0.15
Abril	49	37	86	1:0.76	1.67
Mayo	42	32	74	1:0.76	1.35
Junio	41	33	74	1:0.80	0.86
Agosto	64	60	124	1:0.94	0.13
Setiembre	39	31	70	1:0.79	0.91
Octubre	57	60	117	1:1.05	0.08
Noviembre	52	43	95	1:0.83	0.85
Diciembre	73	44	117	1:0.60	7.19
Total	478	401	879	1:0.84	6.75

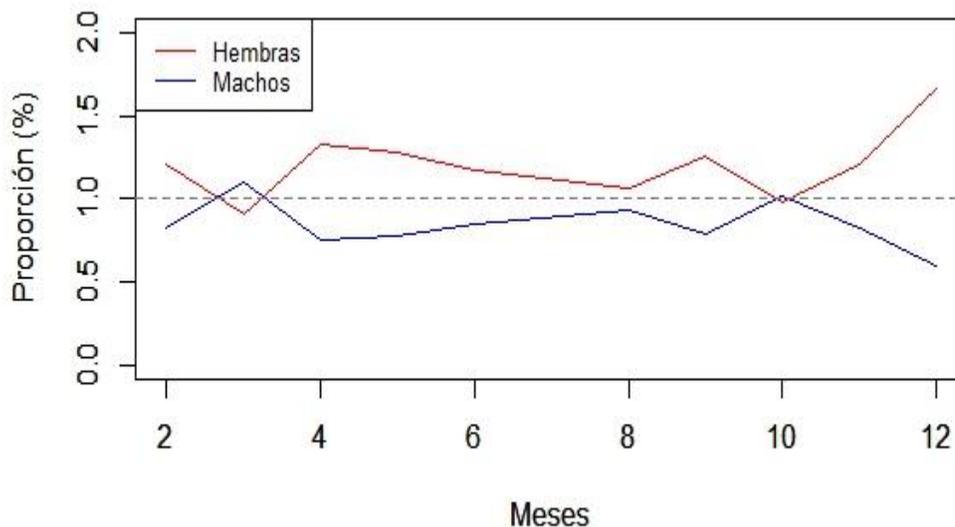


Figura 9. Proporción sexual mensual de *Aulacomya atra* durante el año 2014.

3.3 DESCRIPCIÓN HISTOLÓGICA DE LA GONADA

La gónada de *Aulacomya atra* se encuentra ubicada en la porción ventral de la masa visceral, inmediatamente después del pie, no presenta dimorfismo sexual externo (en la morfometría de la conchilla). Sin embargo, presenta una coloración distintiva relacionada al sexo, siendo parda en hembras y amarillo cremoso en machos, con variación en la intensidad del color en función al grado de madurez correspondiente (Fig. 10).

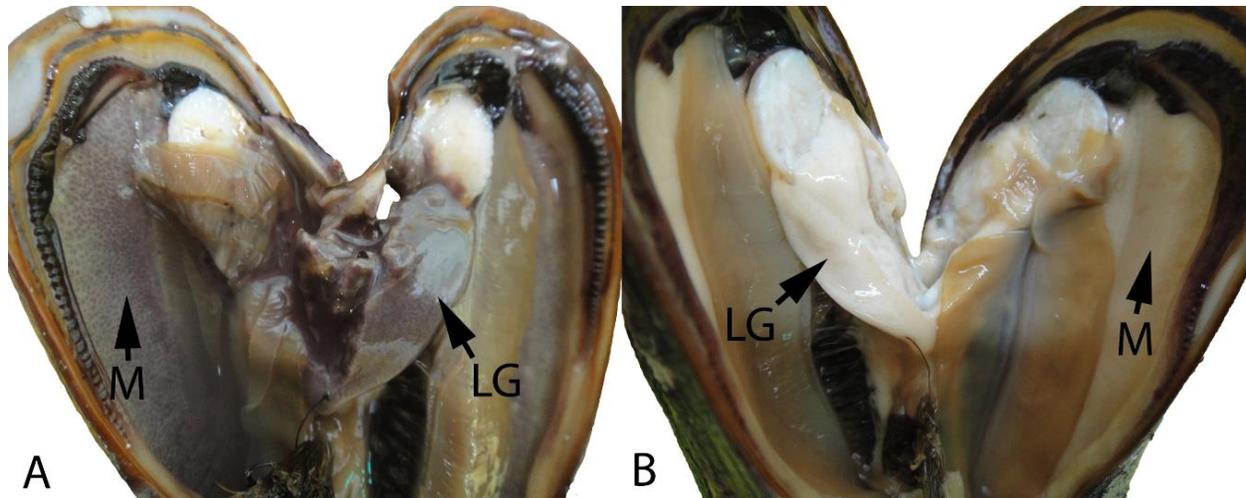


Figura 10. Fotografía macroscópica del lóbulo gonadal de hembra (A) y macho (B) de la especie *Aulacomya atra*, observándose la coloración distintiva. Dónde: LG: Lóbulo gonadal; M: Manto.

Una vez obtenidos los preparados histológicos, se observó la presencia de varias cohortes de células sexuales con diferentes grados de maduración (ovocito inmaduro, en maduración y maduro). Así, se comprobó que esta especie es dioica y presenta reproducción de tipo parcial y asincrónica, presentando un proceso de gametogénesis continuo, haciéndola capaz de presentar más de un evento reproductivo por año.

Una particularidad observada, fue la infiltración del tejido gonadal al manto, llegando a reemplazar el tejido conjuntivo casi al 100%. Esta característica fue evidente en organismos con algún grado de desarrollo, variando por fase de madurez. En organismos virginales, en reposo y recuperación, el tejido gonadal estuvo presente principalmente en el lóbulo gonadal mientras que en el manto se observaron escasos folículos ováricos de tamaño pequeño o ausentes; no obstante, en organismos en maduración, maduros y expulsantes el tejido gonadal se extendió hacia el manto, presentando folículos ováricos completamente llenos y de gran tamaño.

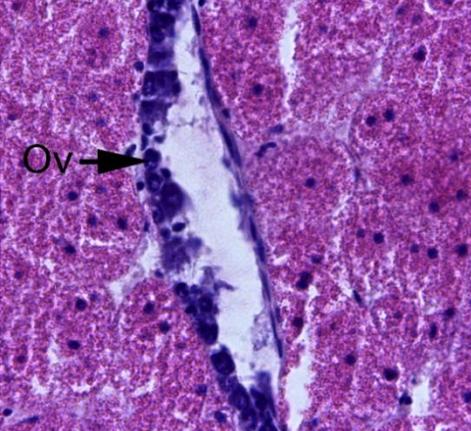
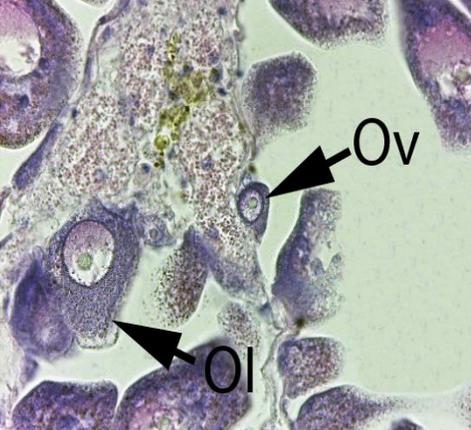
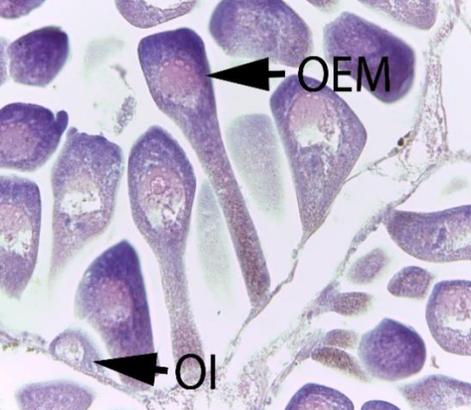
Por otro lado, fue posible observar un caso de hermafroditismo, observándose la separación de la parte femenina y masculina en cada uno de los lóbulos del manto, mientras que en el lóbulo gonadal ambos estuvieron presentes más no mezclados.

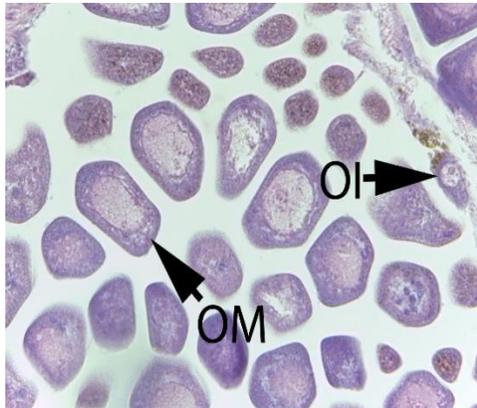
3.3.1 Ovogénesis

A. *atra* presenta una histo-arquitectura del ovario conformada por folículos ováricos de tamaño y llenura variable, así como la presencia del tejido conjuntivo (inter-folicular), el cual puede estar presente o reducido dependiendo del grado de madurez individual. Cuando el ovario se encontró en fases avanzadas de la ovogénesis, se observó una escasa cantidad de tejido conjuntivo, siendo frecuente en los meses de mayor actividad. Se determinó una maduración de tipo cortical, donde las células más inmaduras se encontraron adosadas a la pared del folículo, mientras que las más maduras se ubicaron hacia el centro del lumen.

Los ovogonios (Ov), son células muy pequeñas adheridas a los folículos insipientes, con núcleo pequeño, ligeramente aplanadas y de tinción basófila, al igual que los ovocitos inmaduros (OI), que son células un poco más grandes, aún adheridos a la pared del folículo, de forma poliédrica con un núcleo bien definido, de gran tamaño en proporción a la célula y nucléolo visible. Los ovocitos en maduración (OEM) son células en crecimiento con diferente grado de separación de la pared folicular. Estos son de forma alargada y pedunculada, donde el núcleo se encuentra hacia un extremo, debido a la migración hacia el centro. Los ovocitos maduros (OM) se encuentran ubicadas en el centro del folículo (lúmen) sin conexión a la pared de este, son polimórficos, con núcleo bien definido, grande, central y nucléolo visible. Por último, los ovocitos atrésicos (OA) son células en reabsorción que presentan borde irregular, tanto el núcleo como la célula en su conjunto (Tabla 6).

Tabla 6. Caracterización de los tipos de células sexuales femeninas de *Aulacomya atra*.

TIPO DE CELULA	DESCRIPCIÓN	FOTO
<p>Ovogonio</p> <p>Ov: Ovogonio</p>	<p>Célula muy pequeña adherida a la pared del folículo, con núcleo visible.</p> <p>Tinción: Basófila Aumento: 400X</p>	
<p>Ovocito Inmaduro</p> <p>Ov: Ovogonio Ol: Ovocito inmaduro</p>	<p>Célula pequeña adherida a la pared folicular, de forma poliédrica, con núcleo y nucléolo visible.</p> <p>Tinción: Basófila D. menor: 12.301 μ D. mayor: 21.027 μ Aumento: 630x</p>	
<p>Ovocito en Maduración</p> <p>OEM: Ovocito en maduración Ol: Ovocito inmaduro</p>	<p>Son células en crecimiento de tamaño variable, adheridas aún a la pared folicular, de forma alargada y pedunculada. El núcleo se encuentra hacia un extremo y el nucléolo es visible.</p> <p>Tinción Basófila D. menor: 36.161 μ D. mayor: 88.724 μ Aumento: 400x</p>	

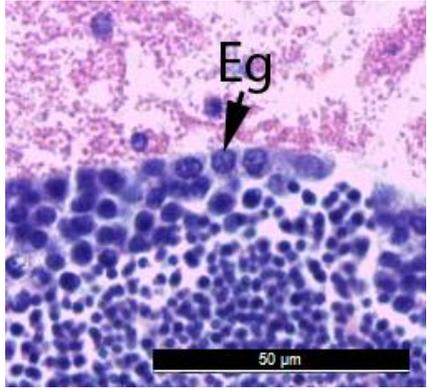
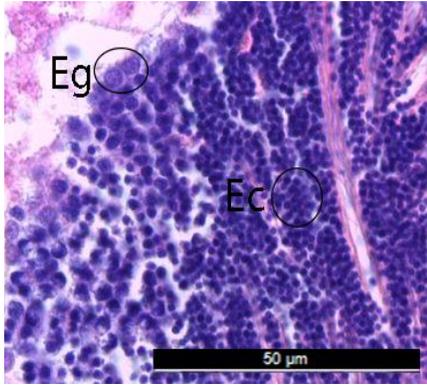
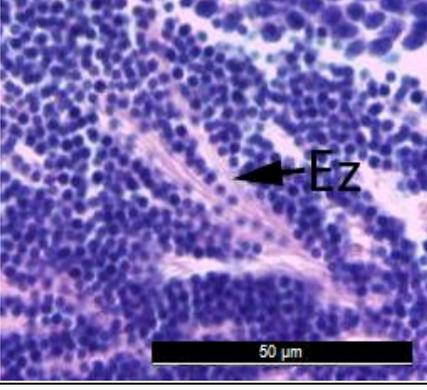
<p>Ovocito Maduro</p> <p>OI: Ovocito inmaduro OM: Ovocito maduro</p>	<p>Células en posición central, con núcleo bien definido, grande y céntrico; y, nucléolo visible. Son polimórficos.</p> <p>Tinción: Eosinófilo D. menor: 36.223 μ D. mayor: 48.913 μ Aumento: 400x</p>	
---	--	--

3.3.2 Espermatogénesis

Los machos presentan una histo-arquitectura conformada por túbulos seminíferos de tamaño variable, así como la presencia del tejido conjuntivo, estructura similar al ovario de esta especie. La maduración también es de tipo cortical, ubicándose a las células más maduras en el lumen del túbulo formando franjas en donde se alinean los espermatozoides; mientras que las células más inmaduras están adosadas a la pared del túbulo. En épocas de inactividad, el lóbulo gonadal puede estar conformado en su totalidad por tejido conectivo sin células sexuales, no permitiendo la identificación del sexo, siendo poco frecuente observar estructuras conformadas por espermatogonias. Tal y como sucede en hembras, el tejido gonadal infiltra el manto en épocas de mayor actividad.

Las células más inmaduras, las espermatogonias (Eg) se encontraron adyacentes a la pared del túbulo, presentaron forma circular y núcleo de posición central, de fácil identificación por estar adheridos a un borde eosinófilo. Los espermatocitos (Ec), células un poco más pequeñas, encontrándose a continuación de los Eg, conservando aún la forma circular. Los espermatozoides (Ez), son las células sexuales maduras, los cuales se encuentran organizados en franjas en la zona central del lóbulo, y se observan con tinción acidófila debido a la tinción de los flagelos. El grosor de estas franjas varió, siendo cortas y angostas en organismos maduros y, largas y anchas en organismos expulsantes. (Tabla 7).

Tabla 7. Caracterización de los tipos de células sexuales masculinas de *Aulacomya atra*.

TIPO DE CELULA	DESCRIPCIÓN	FOTO
<p>Espermatogonio</p> <p>Eg: espermatogonia</p>	<p>Célula inmadura adosada a la pared del túbulo. Fácilmente reconocible debido a su tamaño, y forma circular con núcleo y nucléolo visible.</p> <p>Tinción: Basófila Aumento: 630x</p>	
<p>Espermatocito</p> <p>Eg: espermatogonia Ec: espermatocito</p>	<p>Células en proceso de maduración, dispuestas a continuación de las espermatogonias, en sentido al lumen, de forma circular, de menor tamaño y más numerosas.</p> <p>Tinción Basófila Aumento: 630x</p>	
<p>Espermatozoide</p> <p>Ez: espermatozoide</p>	<p>Células ubicadas en el centro del túbulo seminífero, dispuestas en franjas eosinófilas (tinción del flagelo, ya que la cabeza es basófila).</p> <p>Tinción Eosinófila Aumento: 630x</p>	

3.4 DESCRIPCIÓN DE LA ESCALA DE MADUREZ GONADAL

3.4.1 Hembras

Fase 0 (Virginal o Inmaduro): Se refiere a individuos juveniles que aún no han pasado por ningún evento reproductivo, esta fase se da solo 1 vez. La gónada está conformada principalmente por tejido conjuntivo, con folículos ováricos muy pequeños, compuestos en su mayoría por ovogonias y ovocitos inmaduros de tamaños inferiores a 38 mm de longitud valvar (Fig.11). En algunos casos puede haber ausencia completa de tejido gonadal, en donde se considera indiferenciado.

Fase II (En maduración): Fase en la cual las células comienzan a madurar, posterior a la fase virginal. El tamaño del lóbulo gonadal aumenta, así como su consistencia y, los folículos ováricos empiezan a infiltrar al manto. La gónada presentó un color pardo claro.

Microscópicamente se observan folículos de tamaño mediano a pequeño, de forma variable, distantes entre sí, conformadas principalmente por ovocitos inmaduros y en maduración, pudiendo presentar ovocitos maduros en bajas frecuencias con relación a la fase III. El espacio inter-folicular es amplio aún, y, la pared de la gónada es gruesa. (Fig.12)

Fase III (Maduro): Es la fase en la que el individuo se encuentra completamente maduro, posterior a la fase II. La gónada se torna más firme y toma un color pardo intenso donde se observan claramente manchas pequeñas oscuras, los cuales son folículos ováricos.

En esta fase de la maduración, la histo-arquitectura del ovario presenta un gran número de folículos, de gran tamaño, conformados por ovocitos maduros en su mayoría, con poco espacio entre sí, siendo menos frecuente la presencia de ovocitos en maduración e inmaduros. El espacio inter-folicular se ve reducido y es reemplazado por tejido gonadal en crecimiento, mientras que la pared gonadal va tornándose más delgada (Fig.13).

Fase IV (Desovante): Etapa en la cual se da la liberación de los gametos, asociada también con la máxima madurez. La gónada se torna ligeramente flácida, conservando el color pardo intenso llegando a tonalidades violáceas.

Se observan folículos de gran tamaño con ovocitos completamente maduros en el centro del lumen y menor proporción de ovocitos en maduración. Una característica clave para asignar esta fase es el menor número de ovocitos por folículo al presente en la fase III, indicando periodos de desove. El espacio inter-folicular puede estar completamente reducido debido al tamaño de las trabéculas (Fig.14).

Fase V (En recuperación): Durante esta fase de la maduración, se reabsorben los gametos no expulsados durante la fase IV (desove).

Los organismos en esta fase de la maduración presentan folículos de tamaño mediano a pequeño. El espacio inter-folicular (tejido conjuntivo) se incrementa y reemplaza al tejido gonadal, observándose restos de ovocitos maduros en folículos semi-vacíos y medianamente pequeños, pudiendo o no tener presencia de células atrésicas, ovocitos inmaduros y en maduración (Fig. 15). En los casos más avanzados de reabsorción puede haber ausencia de tejido gonadal, imposibilitando la diferenciación por sexo.

Fase I (Reposo): En el lóbulo gonadal se observan folículos ováricos reducidos con presencia de ovogonias y ovocitos inmaduros, está conformado principalmente por tejido conjuntivo. Son organismos que ya han pasado por algún evento reproductivo, sin embargo, se encuentran inactivos (Fig.16).

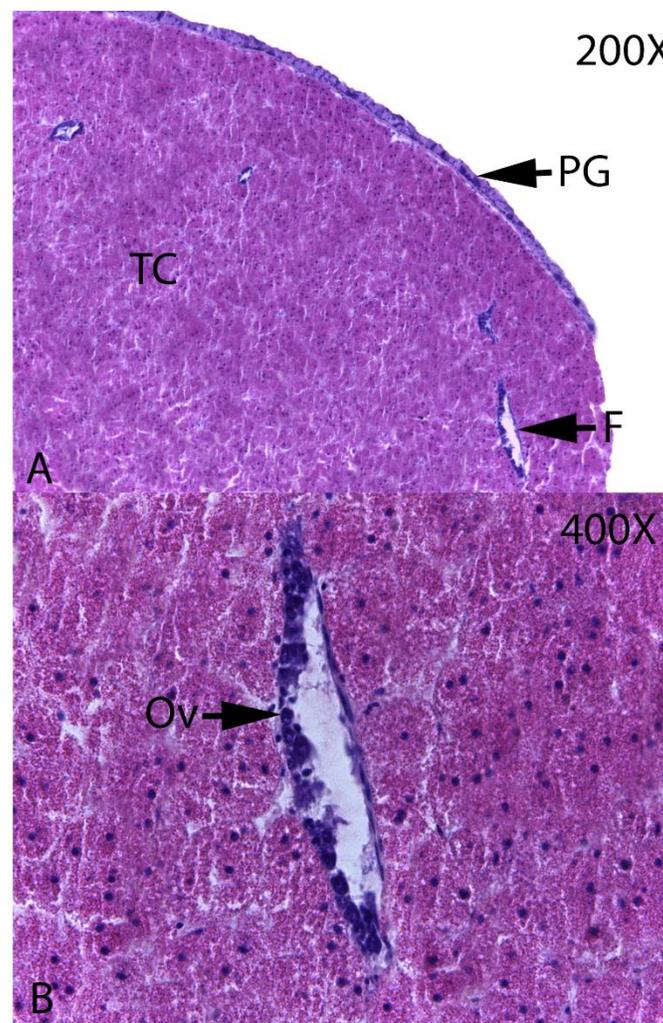


Figura 11. Micrografía de lóbulo gonadal femenino en fase 0 (virginal) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 200X, (B) 400X. PG: Pared gonadal, TC: Tejido conjuntivo, F: Folículo ovárico, Ov: Ovogonia.

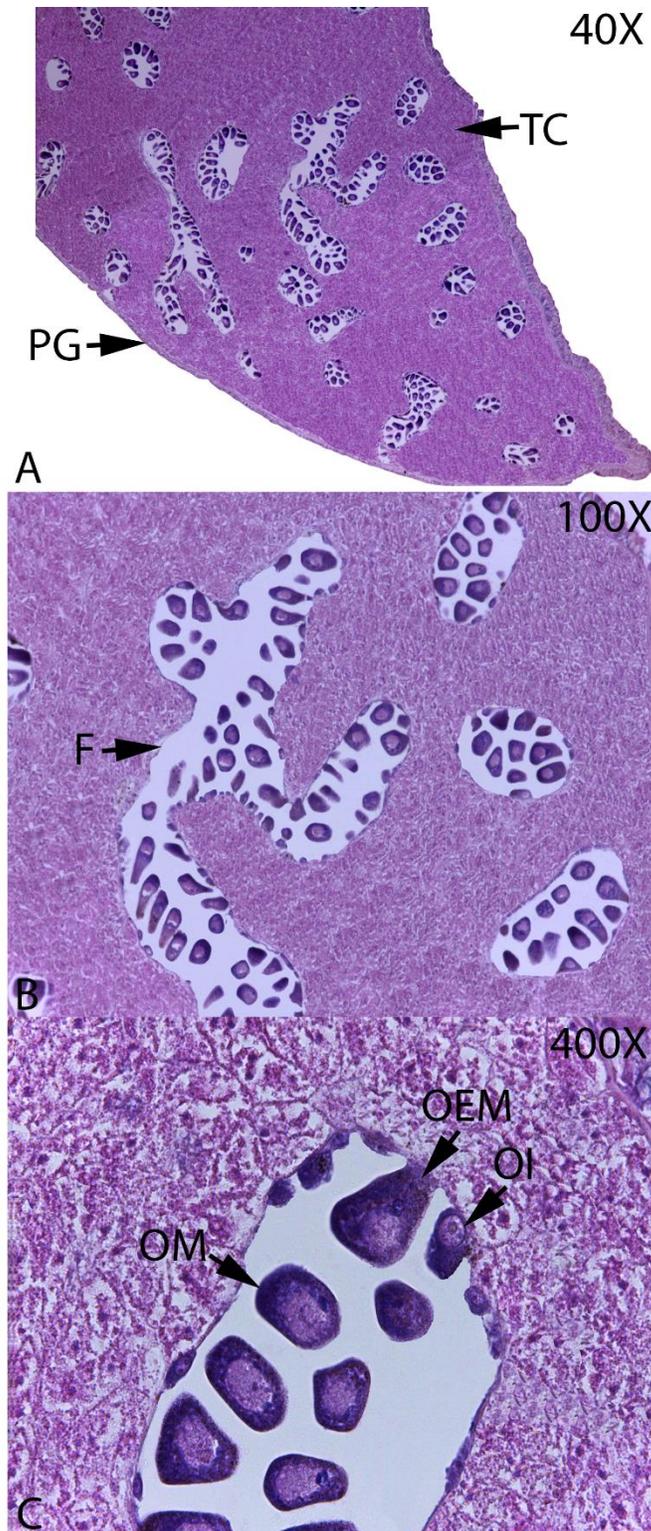


Figura 12. Micrografía de lóbulo gonadal femenino en fase II (en maduración) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 40X, (B) 200X, (C) 400X. PG: Pared gonadal, TC: Tejido conjuntivo, F: Folículo ovárico, OI: Ovocito inmaduro, OEM: Ovocito en maduración, OM: Ovocito maduro.

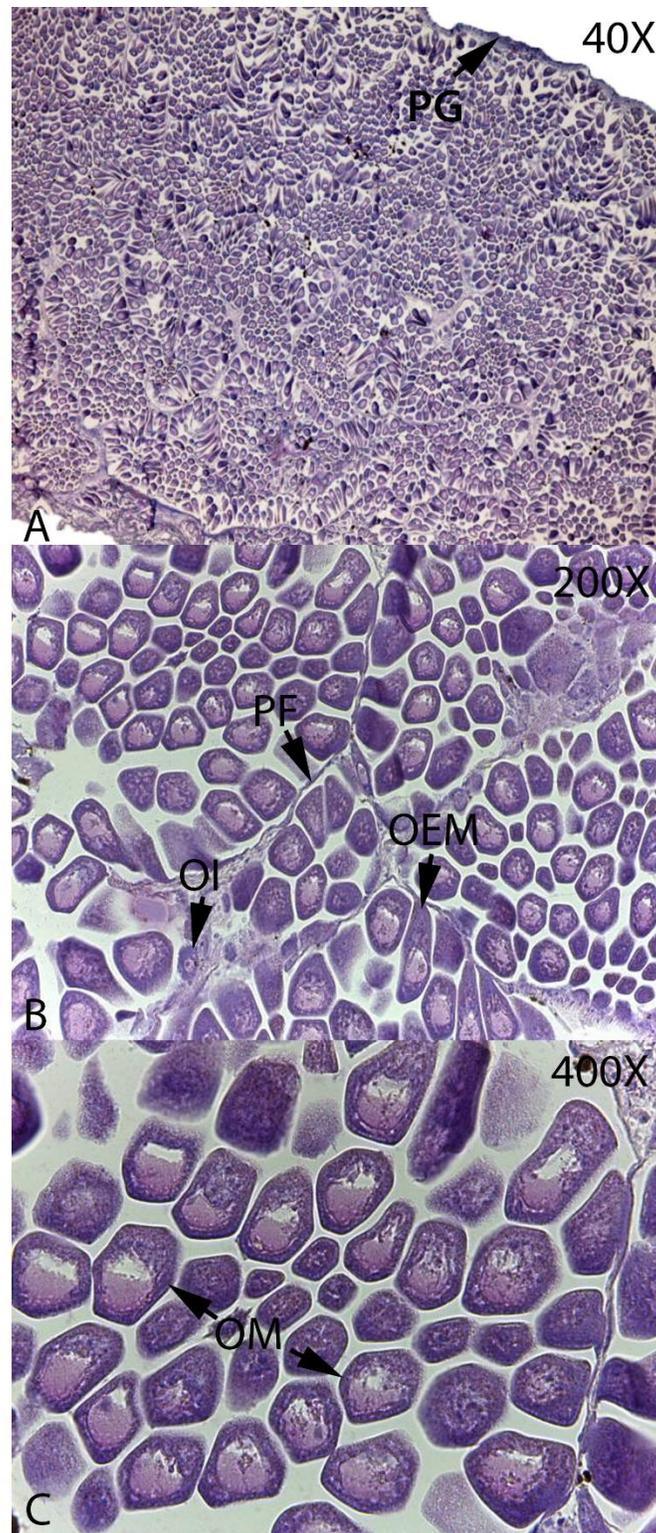


Figura 13. Micrografía de lóbulo gonadal femenino en fase III (maduro) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 40X, (B) 200X, (C) 400X. PG: Pared gonadal, FT: Pared folicular, OI: Ovocito inmaduro, OEM: Ovocito en maduración, OM: Ovocito maduro.

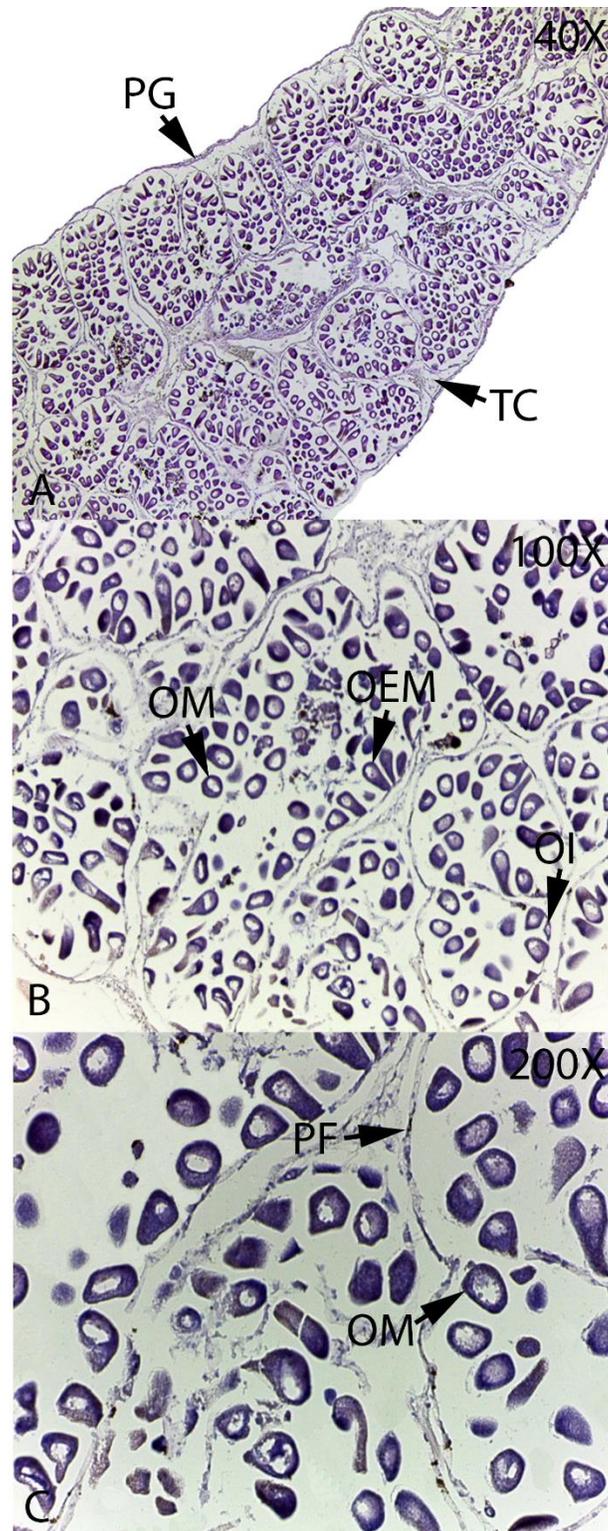


Figura 14. Micrografía de lóbulo gonadal femenino en fase IV (desovante) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 40X, (B) 100X, (C) 200X. PG: Pared gonadal, TC: Tejido conjuntivo, PF: Pared folicular, OI: Ovocito inmaduro, OM: Ovocito maduro, OEM: Ovocito en maduración.

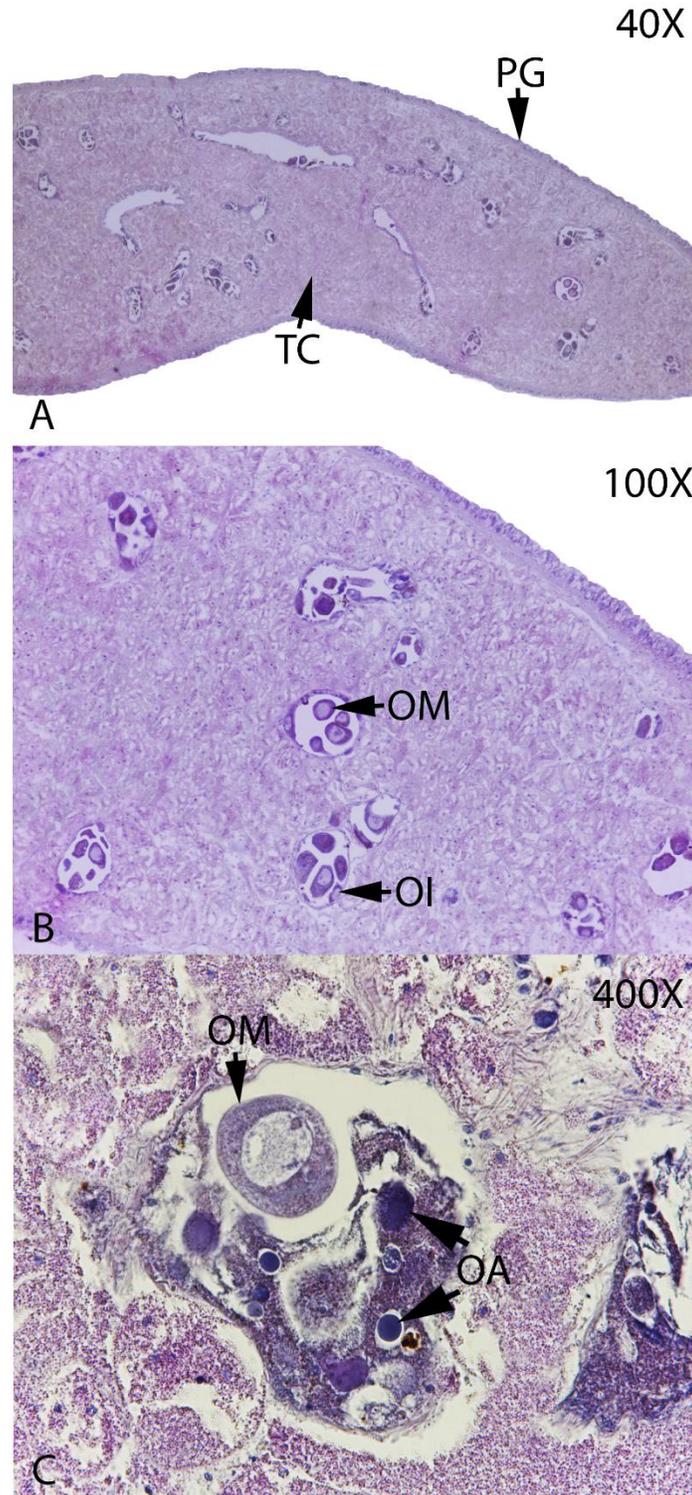


Figura 15. Micrografía de lóbulo gonadal femenino en fase V (recuperación) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 40X, (B) 100X, (C) 400X. PG: Pared gonadal, TC: Tejido conjuntivo, OI: Ovocito inmaduro, OM: Ovocito maduro, OA: Ovocito atrésico.

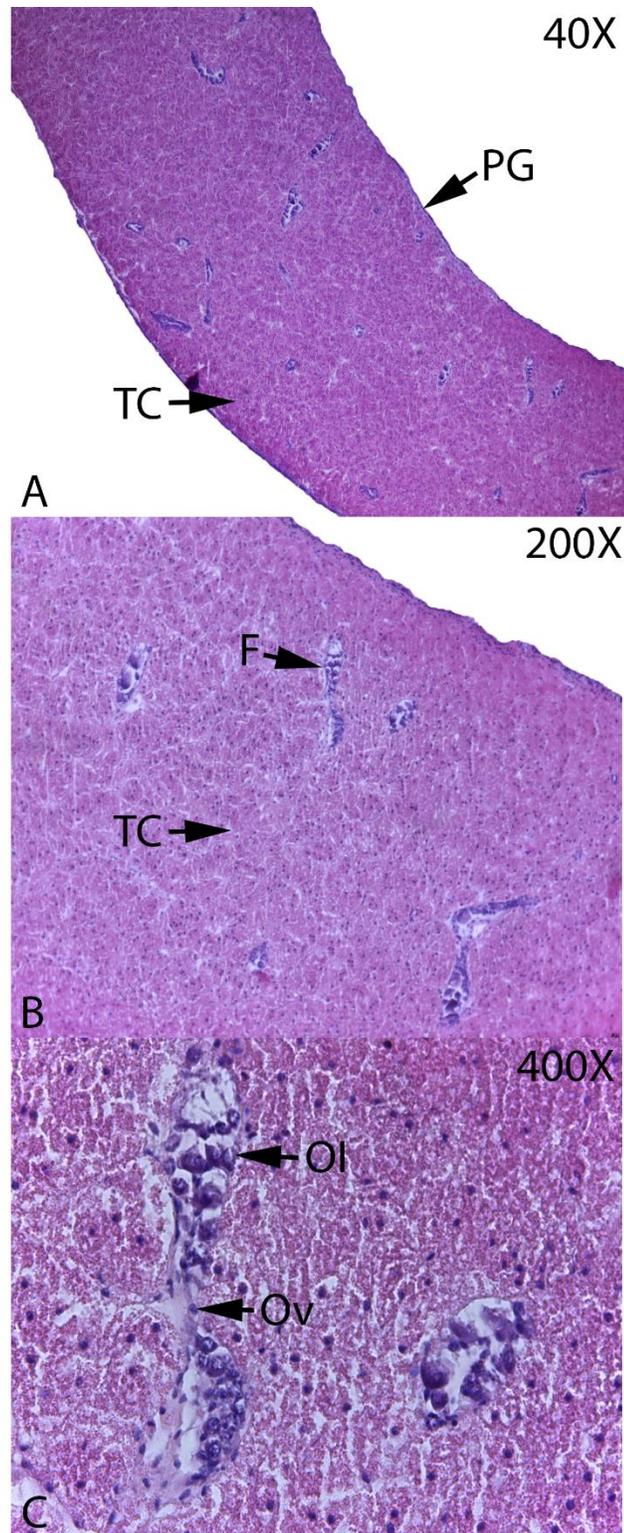


Figura 16. Micrografía de lóbulo gonadal femenino en fase I (reposo) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 40X, (B) 200X, (C) 400X. PG: Pared lobular, TC: Tejido conjuntivo, F: Folículo ovárico, OM: Ovocito maduro, Ol: Ovocito inmaduro, Ov: Ovogonia.

3.4.2 Machos

Fase 0 (Virginal o Inmaduro): Se refiere a individuos juveniles que aún no han alcanzado la madurez, esta fase se da solo 1 vez. En el lóbulo gonadal es posible observar abundante cantidad de tejido conjuntivo, con túbulos pequeños conformados por espermatogonias (Fig.17); es posible también que haya ausencia de tejido gonadal, donde se considera indiferenciado por sexo.

Fase II (En maduración): Etapa en la que se da la espermatogénesis y se observan túbulos en crecimiento, de tamaño y forma variable, con presencia de franjas espermáticas representada principalmente por células inmaduras (Eg) adosadas a la pared del túbulo y en maduración (Ec). El espacio inter-tubular es amplio y la pared gonadal es gruesa aún (Fig. 18).

Fase III (Maduro): Se observan túbulos de gran tamaño, cubriendo la mayor parte de la gónada, reduciendo los espacios inter-tubulares. Se pueden diferenciar claramente franjas de espermatogonias en el borde de los túbulos con una elevada proporción de espermocitos, así como franjas muy eosinófilas, delgadas y de corto recorrido en el centro, representando a los espermatozoides. (Fig.19).

Fase IV (Expulsante): Los túbulos aún son de gran tamaño, con una delgada franja de espermatogonias, pudiendo estar ausentes, así como franjas de espermocitos y espermatozoides en menor proporción respecto a la fase III, siendo posible diferenciar a las células muy espaciadas. En el centro se observan claras franjas eosinófilas desarrolladas en longitud y grosor presente en más del 50% de los túbulos y el tejido conjuntivo aún es escaso (Fig.20).

Fase V (Post-expulsante): Se refiere a individuos que ya pasaron por un proceso de expulsión, aún con células sexuales remanentes. Los túbulos empiezan a reducirse y se observa una franja delgada de espermatogonias y espermocitos hacia la periferia del túbulo y espermatozoides restantes en el centro del túbulo. Las franjas espermáticas ya no son evidentes y en el lumen se observan algunos espacios vacíos (Fig. 21). En los casos más avanzados de reabsorción puede haber ausencia de tejido gonadal, imposibilitando la diferenciación por sexo.

Fase I (Reposo): Se trata de individuos que ya pasaron por un proceso de maduración y que se encuentran desarrollando nuevo tejido gonadal. Hay abundante tejido conectivo con túbulos muy pequeños en desarrollo, conformados únicamente por espermatogonias. (Fig. 22).

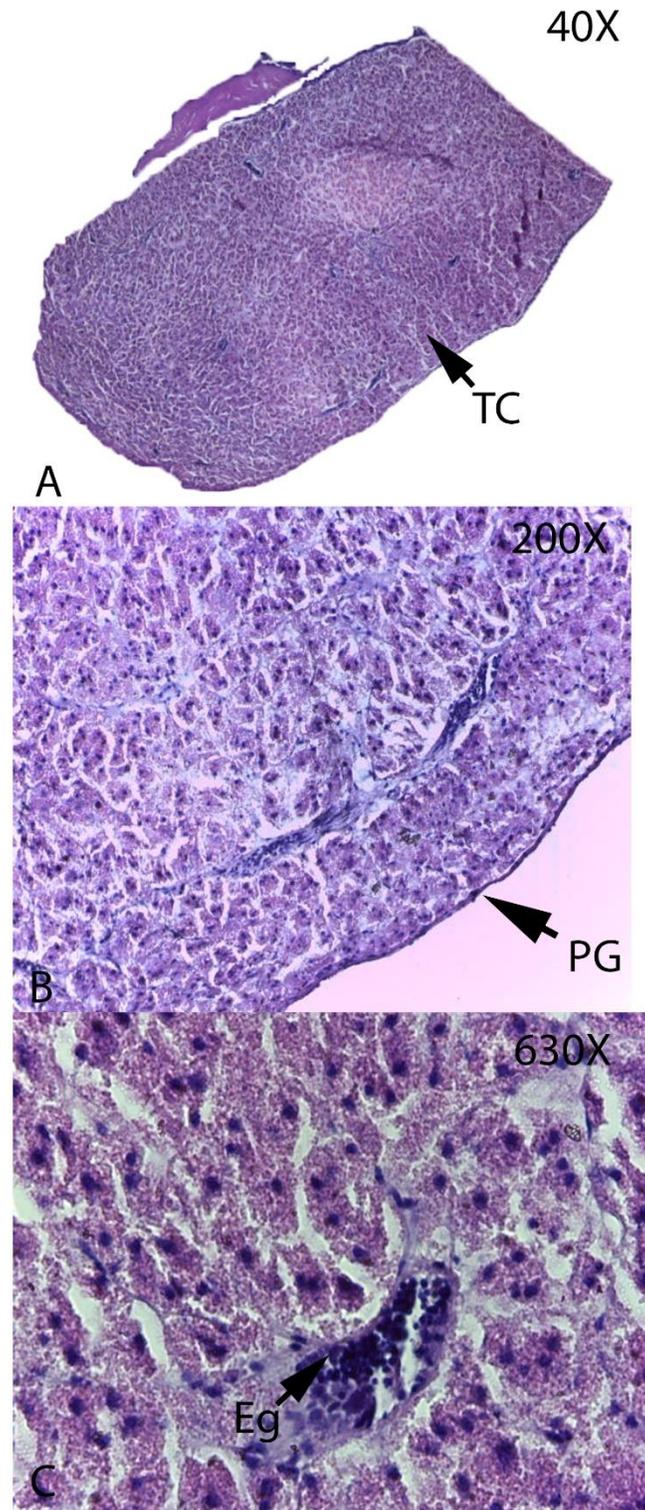


Figura 17. Micrografía de lóbulo gonadal masculino en fase 0 (virginal) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 40X, (B) 200X, (C) 630X. TC: Tejido conjuntivo, PG: Pared gonadal, T: Túbulo, Eg: Espermatogonia.

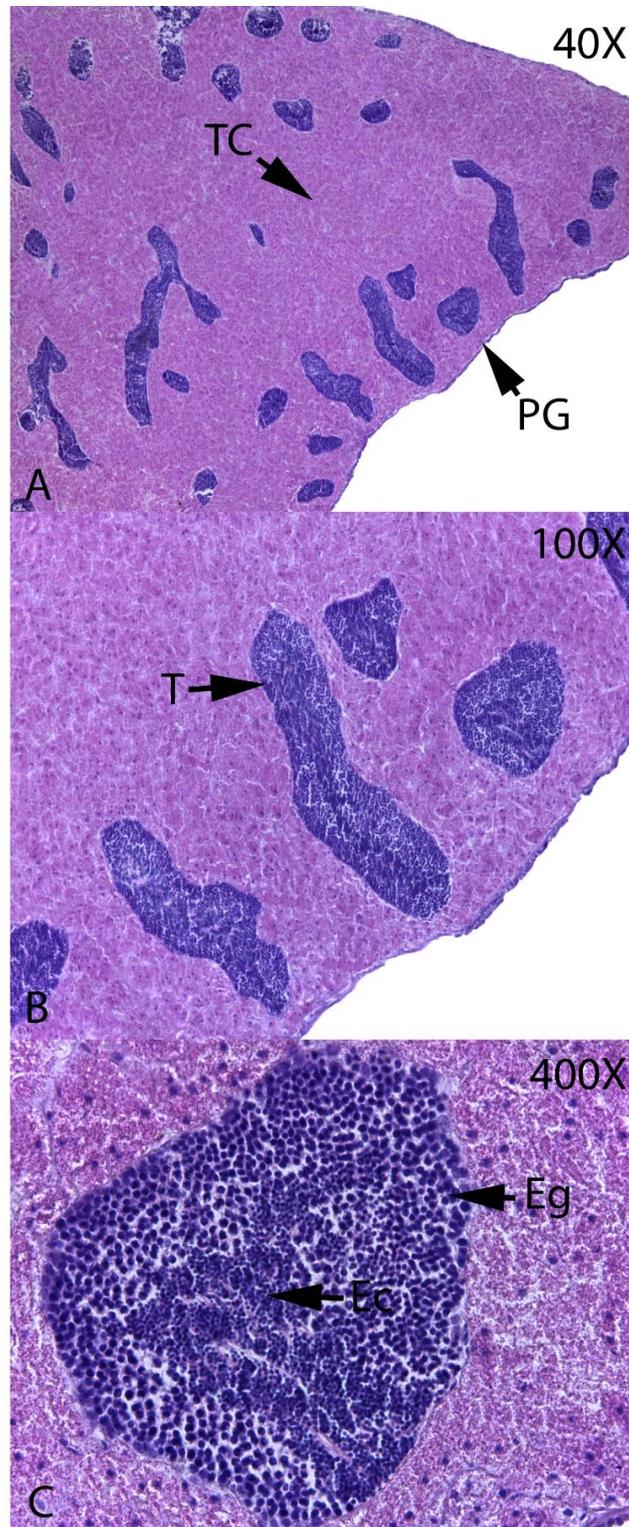


Figura 18. Micrografía de lóbulo gonadal masculino en fase II (en maduración) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 40X, (B) 100X, (C) 400X. PG: Pared gonadal, TC: Tejido conjuntivo, T: Túbulo, Eg: Espermatogonia, Ec: Espermatocito.

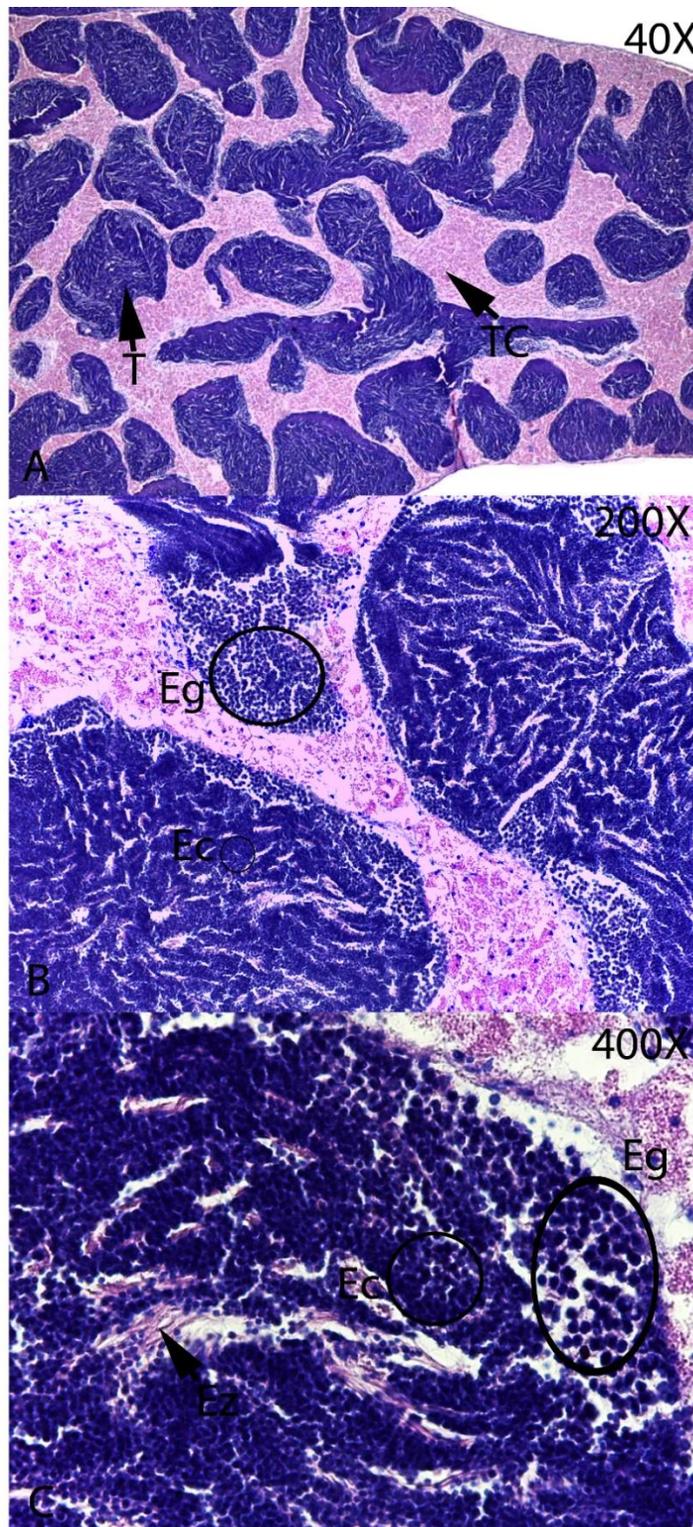


Figura 19. Micrografía de lóbulo gonadal masculino en fase III (maduro) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 40X, (B) 200X, (C) 400X. T: Túbulo, PL: Pared lobular, Eg: Espermatogonia, Ec: Espermatocito, Ez: Espermatozoide.

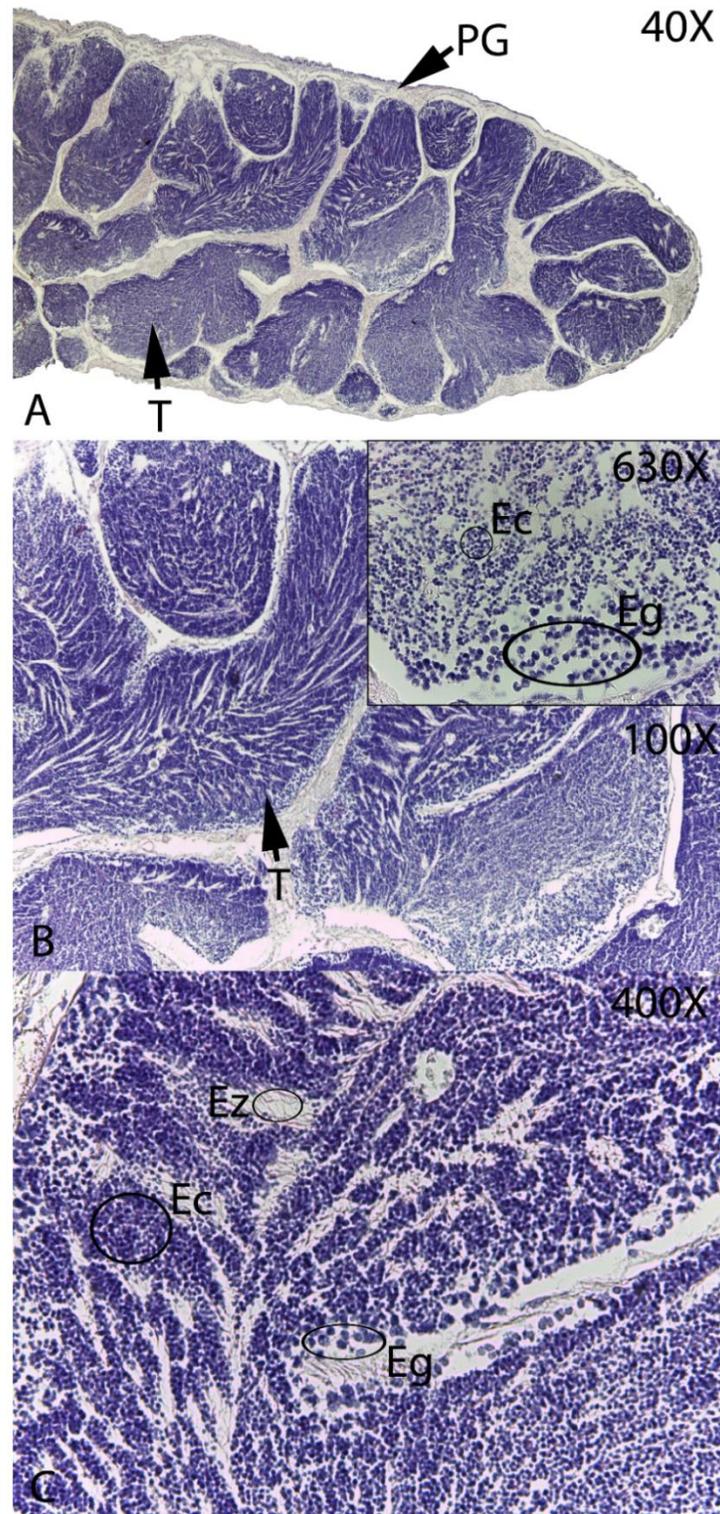


Figura 20. Micrografía de lóbulo gonadal masculino en fase IV (expulsante) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 40X, (B) 100X, (C) 400X. T: Túbulo, PL: Pared lobular, TC: Tejido conjuntivo, Eg: Espermatogonia, Ec: Espermatocito Ez: espermatozoide.

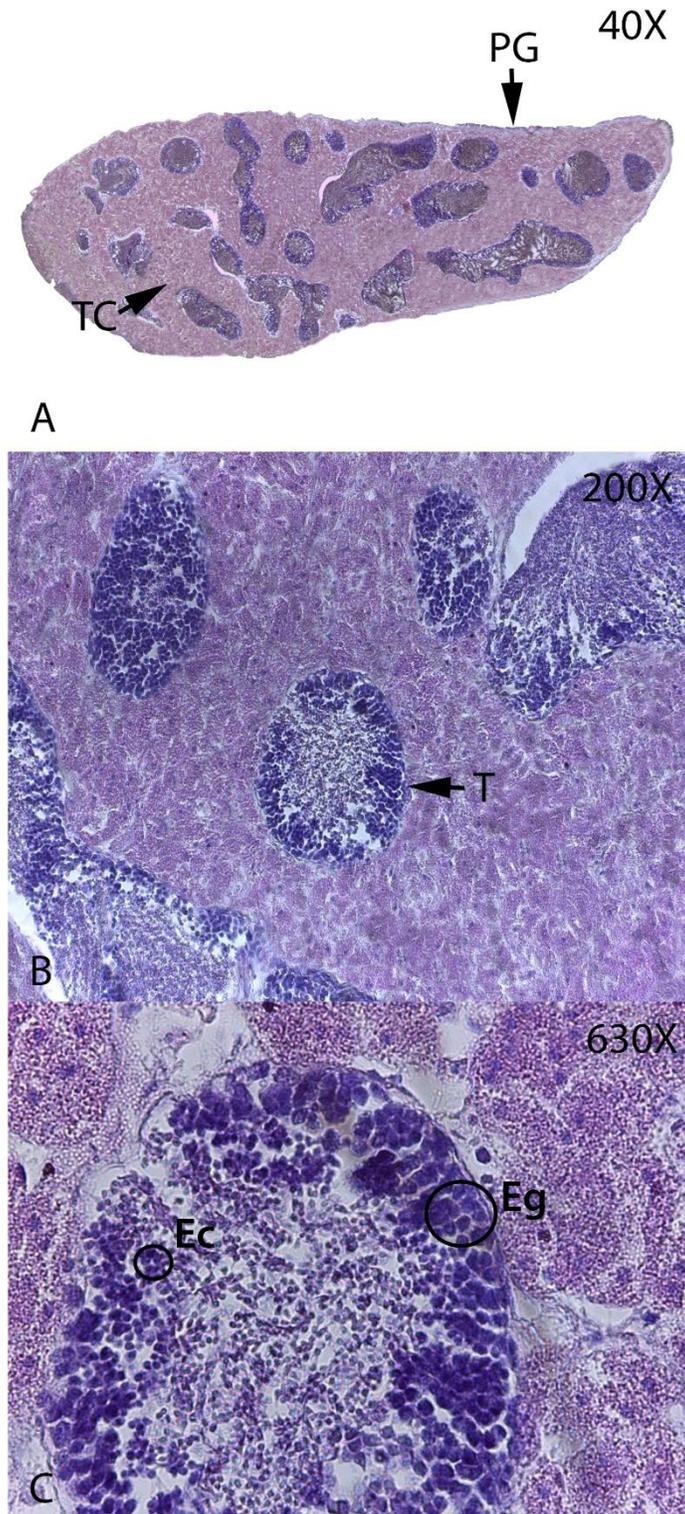


Figura 21. Micrografía de lóbulo gonadal masculino en fase V (post-expulsión) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 40X, (B) 200X, (C) 630X. T: Túbulo, PG: Pared gonadal, TC: Tejido conjuntivo, Eg: Espermatoogonia, Ec: Espermatoocito.

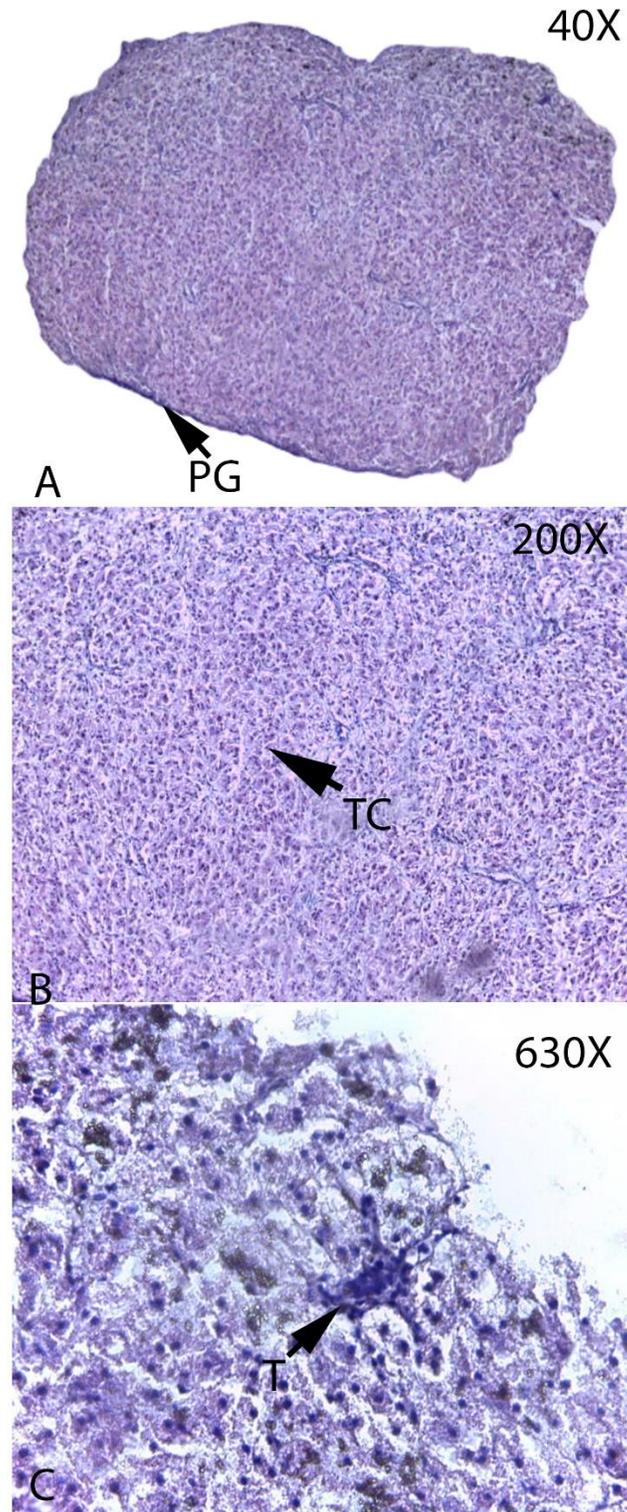


Figura 22. Micrografía de lóbulo gonadal masculino en fase I (Reposo) de *Aulacomya atra* en aumentos: (A) 40X, (B) 200X, (C) 630X. PG: Pared gonadal, TC: Tejido conjuntivo, T: Túbulo.

3.5 DETERMINACION DE FRECUENCIA DE FASES

De acuerdo con la descripción de las fases de madurez gonadal previamente mencionadas, se determinó la frecuencia de estas, de manera mensual (Fig.23), observándose un mayor número de organismos indiferenciados o en fase 0 (virginal) principalmente durante los meses de abril y diciembre con 15.3% y 50.6%, respectivamente, donde coincidentemente, hubo un mayor rango de tallas correspondiendo a periodos de reclutamiento de esta especie.

Los organismos en fase II (en maduración) estuvieron presentes durante la mayoría de los meses de muestreo, principalmente durante marzo (60.7%) y abril (41.8%); mientras que la mayor proporción de organismos en fase III (maduros) se identificó en febrero, mayo y de agosto a octubre representando más del 50% de los organismos muestreados. En febrero y mayo, la proporción de organismos en fase IV (desovante/expulsante) fue baja, no representando más del 5% y 15%, no obstante, durante los meses de primavera fue donde se identificó la mayor proporción de organismos en fase IV con valores de 45.7 en setiembre, 28.3% en octubre, y 30.5% en noviembre.

La fase V (recuperación/post-expulsión) fue observada básicamente en junio (37.8%) y agosto (21%), posterior al mes de mayo, donde hubo una gran proporción de organismos maduros pero mínima proporción de organismos en fase IV. La fase I (reposo), fue poco frecuente, encontrándose una fracción de la población en esta condición en junio, noviembre y diciembre, con porcentajes de 10.8%, 8.4% y 11% respectivamente. Estos valores son bajos, pero muestran una relación directa de la reabsorción e inactividad posterior a los meses de desove/expulsión en esta especie.

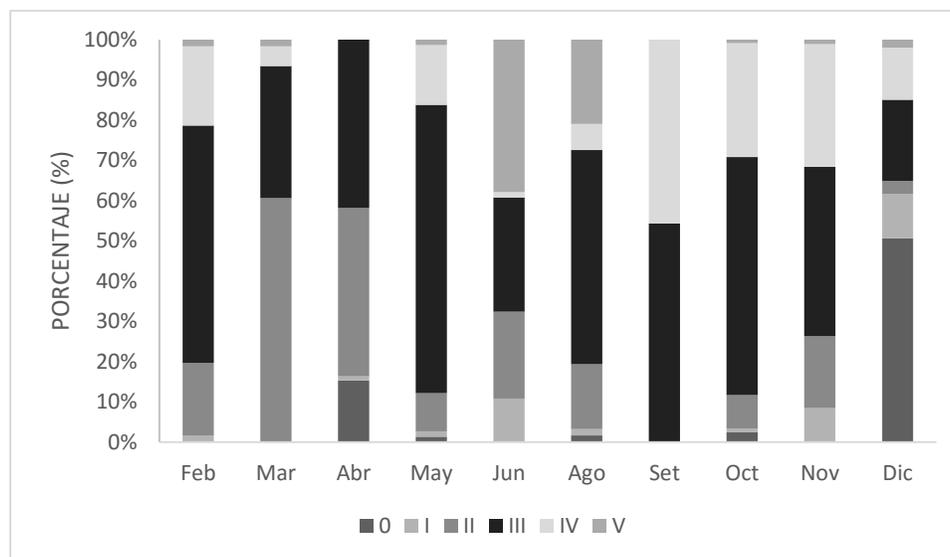


Figura 23. Frecuencia relativa por fase de madurez gonadal de *Aulacomya atra* durante el 2014, en Ilo, Moquegua.

3.5.1 Hembras

La actividad reproductiva de las hembras de *Aulacomya atra* presentó ligeras diferencias en las fases de madurez mensual (Fig.24).

La fase 0 (virginal) fue identificada principalmente durante abril y diciembre, siendo este último mes, en el cual se presentó en mayor proporción (28.8%), no superando el 2% en agosto. Las hembras en fase II (en maduración) estuvieron presentes durante casi todos los meses de estudio, oscilando entre 35% y 55% en marzo, abril y junio; y entre 11% y 23% en febrero, mayo, agosto, octubre y noviembre, mientras que en diciembre representó solo un 4.1%. La fase III (maduro) se observó durante todos los meses de estudio en proporciones superiores al 20%, presentando los más altos valores en los meses de febrero, mayo y agosto, con valores de 70% y 80%. Mientras que la mayor proporción de organismos en fase IV (desovante) estuvieron presente esencialmente de setiembre a noviembre, con 59%, 33.3% y 38.5% respectivamente, disminuyendo hacia el mes de diciembre.

La proporción de la fase V (recuperación), al igual que la fase I (reposo) fueron bajas, representando entre 3% y 4%. Contrariamente, en el mes de diciembre la proporción de organismos en la fase I representó el 28.8%.

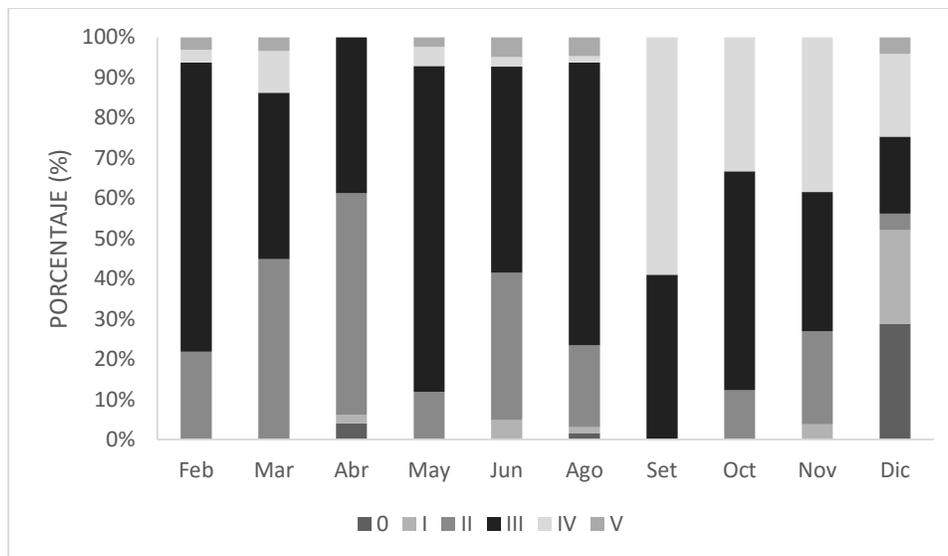


Figura 24. Frecuencia relativa por fase de madurez gonadal de hembras de *Aulacomya atra* durante el 2014, en Ilo, Moquegua.

3.5.2 Machos

Con relación a los machos, la estructura de fases de madurez gonadal, al igual que en las hembras, presento ligeras diferencias (Fig.25), mostrando meses de muy baja actividad, sobre todo en junio.

De tal manera, la fase 0 (virginal) estuvo presente principalmente en diciembre con una frecuencia de 45.5%, con valores no superiores al 3% en abril, mayo y agosto. Seguidamente, en marzo, se identificó un 75% de machos en fase II, proporción que disminuyó en abril a 37.9%, no superando el 15% en los demás meses en que se presentó; mientras que la fase III estuvo presente durante todos los meses de estudio, excepto en junio, con una proporción superior al 50% en abril, mayo y de setiembre a noviembre. Estos valores se asemejan a los obtenidos para hembras en esta fase; sin embargo, para los machos, estos fueron superiores.

Los organismos en fase IV (expulsante) se presentaron con mayor intensidad, durante los meses de febrero, mayo y de setiembre a noviembre con valores entre 20% y 40%, con menor intensidad en diciembre (11.4%). Contrario a lo observado en hembras, durante junio y agosto la proporción de organismos en fase V (post-expulsante) fue considerable, con valores de 78.8% y 38.3%, respectivamente, no superando el 2.5% en los demás meses en que estuvo presente. Por último, la fase I (reposo) fue poco frecuente, siendo junio (18.7%) y noviembre (13.9%) los meses en que se presentó con mayor intensidad.

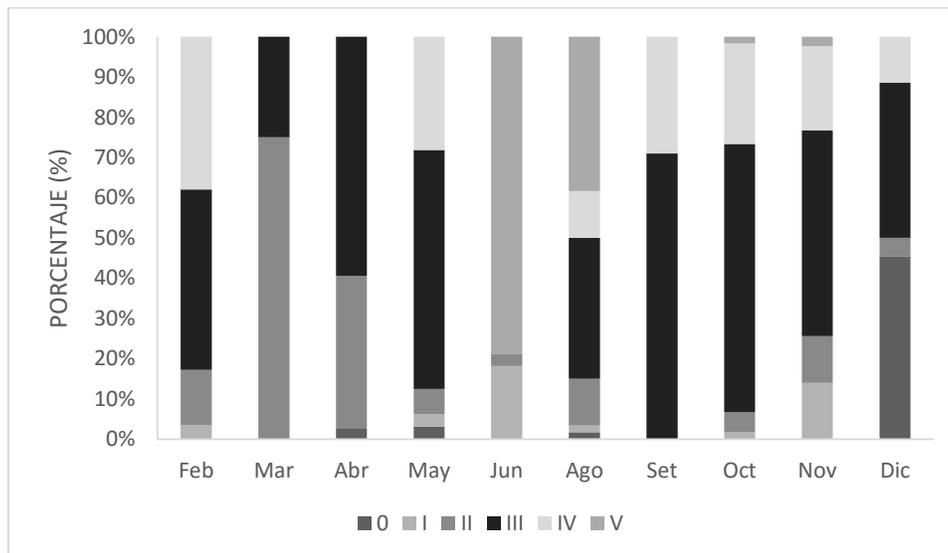


Figura 25. Frecuencia relativa por fase de madurez gonadal de machos de *Aulacomya atra* durante el 2014, en Ilo, Moquegua.

3.6 DETERMINACIÓN Del ÍNDICE DE ACTIVIDAD REPRODUCTIVA

En general, el índice de actividad reproductiva (IAR) presentó valores altos durante la mayoría de los meses de muestreo (Fig. 26). No obstante, durante marzo, junio y agosto, se observaron los valores más bajos en el caso de machos, coincidiendo con una mayor proporción de organismos madurantes en marzo, una mayor proporción de organismos en recuperación y reposo en junio, además de una importante fracción de organismos en maduración y recuperación en agosto.

En el caso de hembras, los valores de IAR no fueron inferiores al 40%, indicando constante actividad durante todo el año. Sin embargo, en abril y junio se presentaron los valores más bajos.

Los valores del IAR fueron superiores al 50% durante la mayor parte de los meses de monitoreo tanto en hembras como en machos. Se observó que, en hembras, en febrero, mayo y de agosto a noviembre este índice superó el 70%; mientras que en machos fue en febrero, mayo y de setiembre a diciembre donde se hallaron los más altos valores. En setiembre, este índice alcanzó el 100%, tanto en hembras como en machos, descendiendo gradualmente en los meses posteriores. Cabe resaltar que en diciembre se identificó una relación opuesta del IAR, ya que mientras que en hembras se dio un incremento, en machos continuó en descenso.

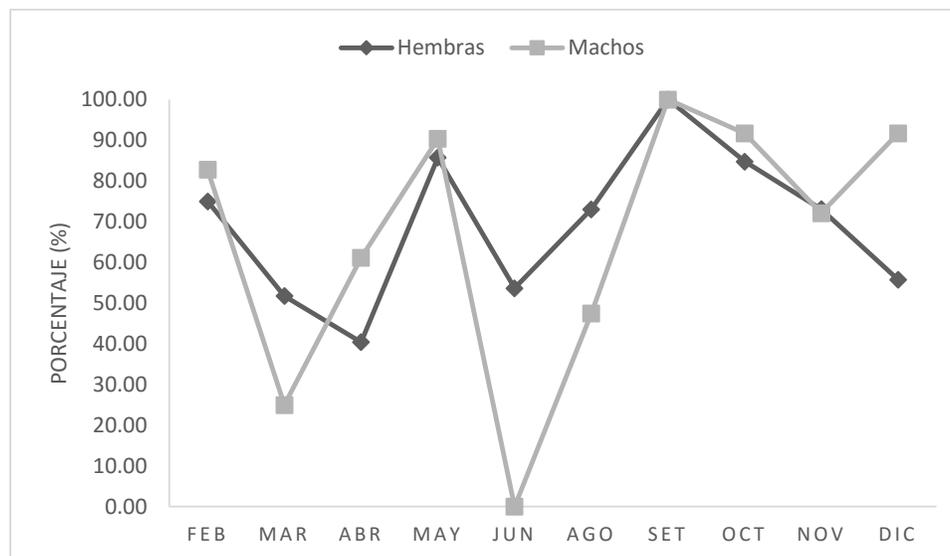


Figura 26. Índice de actividad reproductiva (IAR) mensual de hembras y machos de *Aulacomya atra* durante el 2014, en Ilo, Moquegua.

3.7 FRACCIÓN DESOVANTE/EXPULSANTE

Los estimados de este índice, mostraron una importante actividad desovante y expulsante principalmente durante los meses de primavera, identificándose en setiembre, el pico máximo (59%) de este índice, disminuyendo posterior a este mes. En cuanto a machos, al igual que en hembras se mostró un incremento de este índice desde los meses de agosto hasta mediados de primavera, octubre, disminuyendo gradualmente hacia fines del verano.

En machos, durante la primavera, se presentó una fracción importante con activa expulsión y desove de gametos, con una variación de 20% a 30%, no llegando a manifestar la misma intensidad que en hembras. Sin embargo, una significativa proporción de organismos bajo esta condición se identificaron también en los meses de febrero y mayo, llegando a presentar una intensidad igual o superior a la registrada en los meses de primavera (Fig.27).

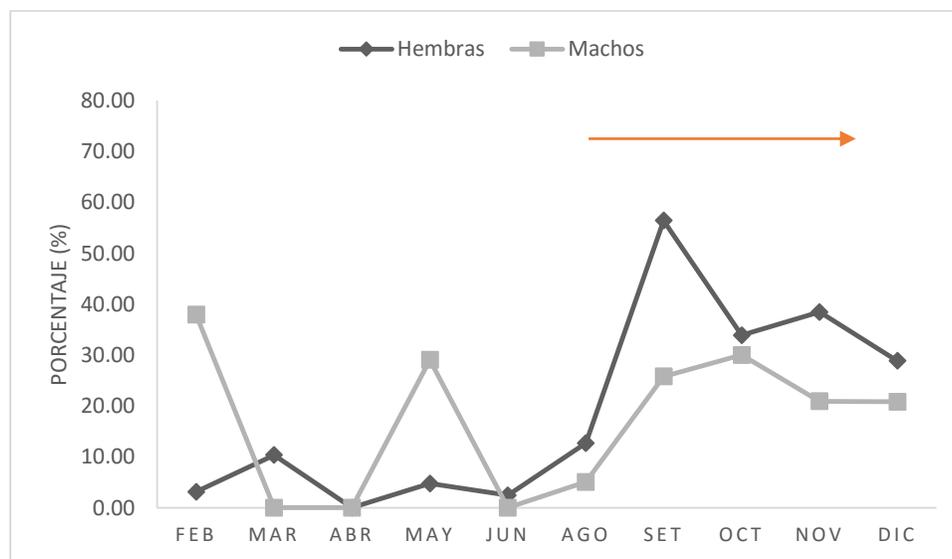


Figura 27. Índice de actividad desovante y expulsante (IAD/IAE) mensual de hembras y machos de *Aulacomya atra* durante el 2014, en Ilo, Moquegua.

3.8 DETERMINACION DE TALLA DE MADUREZ

La talla de madurez fue calculada como la talla a la cual más del 50% (L₅₀) de los organismos se presentaron como maduros (fase III). Así, se obtuvo una talla de madurez para hembras a los 38.5 mm de LV (Fig. 28) y una talla de desove a los 39.1 mm de LV (Fig. 29).

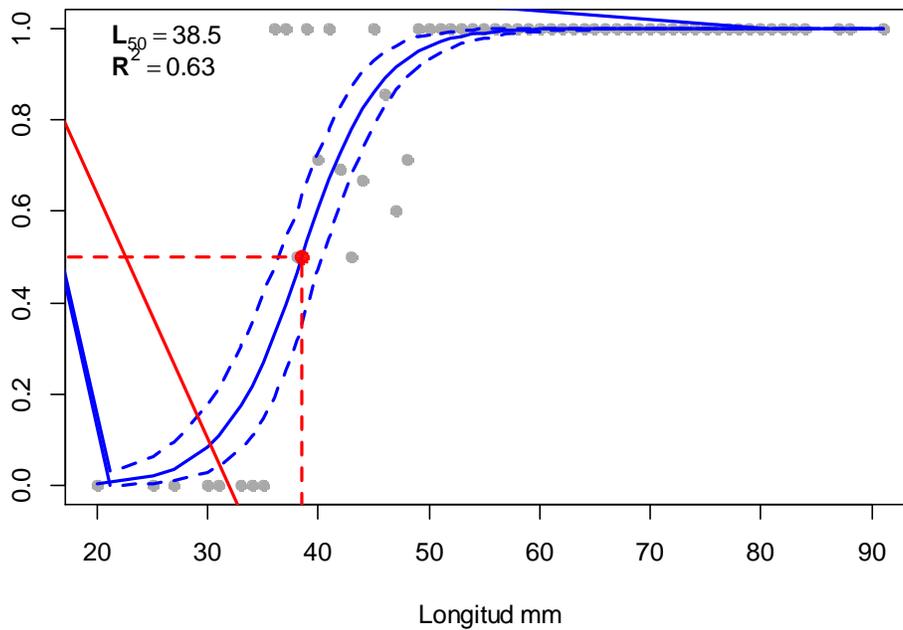


Figura 28. Curva logística de la talla de madurez de hembras del recurso *Aulacomya atra* durante el 2014, en Ilo, Moquegua.

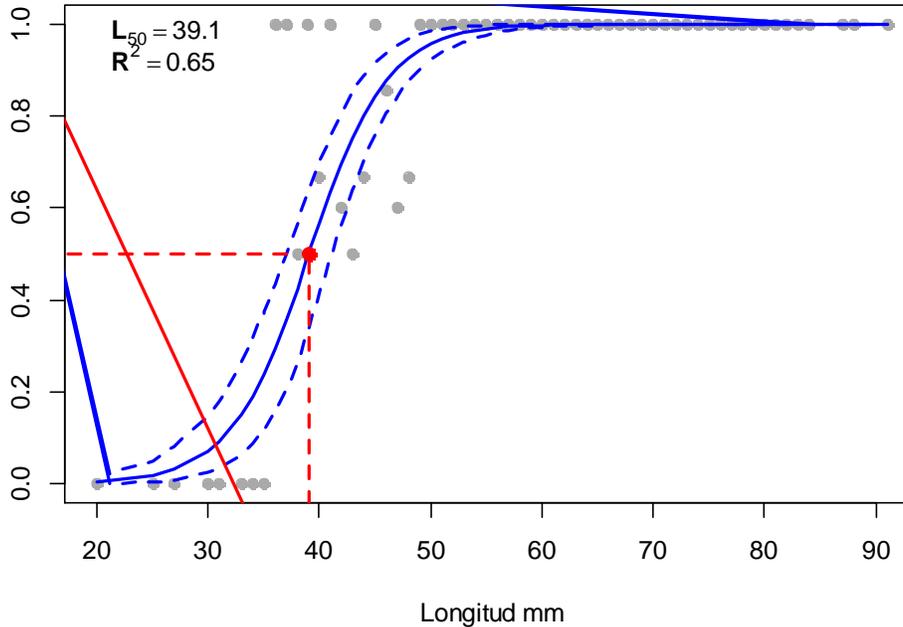


Figura 29. Curva logística de la talla de desove de hembras del recurso *Aulacomya atra* durante el 2014, en Ilo, Moquegua.

3.9 DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE CONDICIÓN

El factor de condición (FC) mostró valores acordes a los periodos de actividad e inactividad reproductiva. De febrero a mayo, se observó que este índice presentó los valores más bajos; mientras que de setiembre a diciembre se observaron valores superiores coincidiendo con la época de máxima actividad reproductiva, tanto en hembras como en machos (Fig. 30).

Cabe señalar que en junio este índice se dispara, obteniéndose el valor más alto de todo el periodo de estudio, donde los machos presentaron valores superiores al de hembras a pesar de que los organismos evaluados se encontraban inactivos. Coincidentemente, en los meses posteriores se da el inicio de la época principal de desove. Asimismo, se observa como este índice en el mes de agosto disminuye drásticamente, sugiriendo que en junio se almacenan los nutrientes y la energía para los meses posteriores en donde se le empleará para la producción de gametos.

Los valores determinados de setiembre a diciembre están relacionados al aumento del peso del tejido gonadal, ya que este infiltra al manto mientras se da el proceso de maduración, así, en periodos de máxima actividad reproductiva los valores de FC son elevados, mientras que en los meses de inactividad el valor tiende a disminuir.

Por otra parte, en noviembre se observa una clara disminución del factor de condición en machos, no siendo tan marcado en hembras.

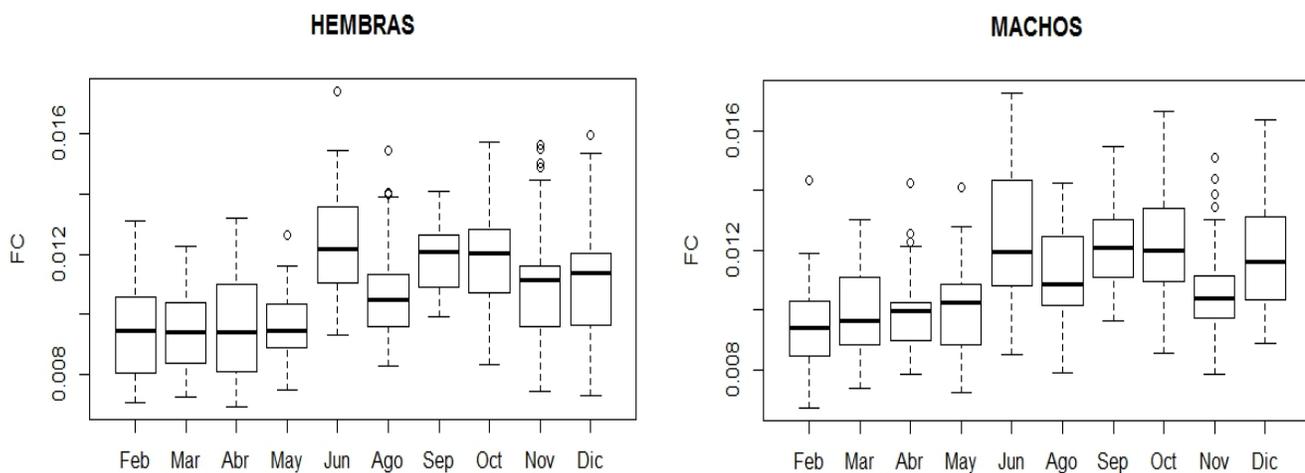


Figura 30. Factor de condición mensual de hembras (izquierda) y machos (derecha) de *Aulacomya atra* durante el 2014, en Ilo, Moquegua.

3.10 RELACION DE LA TEMPERATURA Y VARIABLES BIOLÓGICAS

Durante los meses de evaluación, se realizó el seguimiento de la temperatura superficial del mar (TSM) debido a que varios autores señalan estrecha relación entre este parámetro y el comienzo de la actividad reproductiva y desove de numerosas especies, sobre todo en organismos sésiles.

En verano, la temperatura promedio del área de estudio fue de 17°C. En febrero, se observó un gran número de organismos maduros, contrariamente, el número de organismos desovantes/expulsantes fue inferior, disminuyendo en los meses posteriores.

Entre marzo y mayo (otoño), la temperatura promedio fue de 16.41°C, registrándose un progresivo aumento de la fracción de adultos en maduración y maduros; no obstante, la proporción de organismos en desove/expulsión fue baja. Mayo se caracterizó por la alta proporción de machos maduros y expulsantes, mientras que en hembras la proporción de desovantes fue baja cuando la temperatura fue de 16.88°C.

En invierno, entre junio y agosto, se registró la temperatura promedio más baja 15.40°C, coincidentemente, en junio se registró una alta inactividad, más evidente en machos; es decir, presencia de individuos post-expulsantes y en reposo como respuesta la baja proporción de expulsantes en el mes anterior, evidenciando procesos de reabsorción. En los meses de agosto y setiembre se registraron las temperaturas más bajas, de 14.95°C y 14.29°C, respectivamente, lo cual parece estar relacionado al inicio de la época de desove, desencadenando el inicio de la maduración masiva y desove/expulsión de gametos.

Finalmente, en los meses de primavera se observó un claro aumento de organismos maduros y desovantes/expulsante, sobre todo en el mes de setiembre registrándose una temperatura de 14.29°C. Seguidamente, con el aumento progresivo de la temperatura, se observa un prolongado periodo de evacuación de gametos que va disminuyendo conforme la temperatura continúa en aumento, alcanzando los 16.56°C en diciembre. Este comportamiento es observado a lo largo de toda la primavera, extendiéndose hasta febrero de 2015 donde el declive se observó claramente (Fig.31).

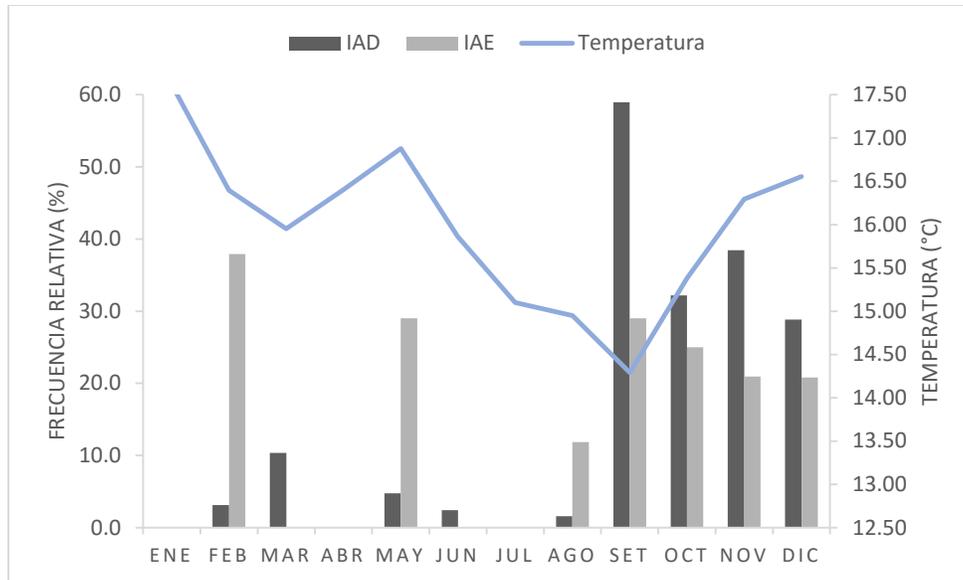


Figura 31. Variación de la temperatura superficial del mar (TSM) y la fracción de hembras desovantes y machos expulsantes de *Aulacomya atra* durante el 2014, en Ilo, Moquegua.

IV. DISCUSION

En Perú, *Aulacomya atra* es considerado un importante recurso para la pesquería artesanal destinado al consumo humano directo (CHD), sin embargo, los bancos naturales en el litoral son pocos, siendo la zona de “Leonas” ubicada al sur de Ilo, junto con “Tres Hermanas” y “Cuartel” el banco natural más importante de este recurso, y el que sostiene actualmente la pesquería en Ilo (IMARPE, 2015).

Una característica resaltante de la especie es la marcada diferencia en la coloración del lóbulo gonadal, evidenciando la diferenciación por sexo siendo esta una característica propia de algunos pectínidos y mitílidos (Lozada, 1967; Lozada *et al.*, 1971; Griffiths, 1977; Calvo *et al.*, 1998; Ostos *et al.*, 2000). Sin embargo, en organismos virginales la coloración es similar (amarillenta) y va cambiando conforme el individuo va madurando hasta presentar un color pardo en hembras y amarillo-crema en machos, rasgo que comparte con otros mitílidos, (Lozada *et al.*, 1971; Griffiths, 1977). Además, en algunos trabajos se ha mencionado que el grosor del lóbulo gonadal disminuye en épocas de inactividad, particularidad observada en el presente trabajo.

Varios autores han mencionado la capacidad de infiltración del tejido gonadal hacia el manto a medida que los individuos van madurando (Jaramillo y Navarro, 1995; Avendaño y Cantillán, 2012, Pérez *et al.*, 2013), sustituyendo el tejido conjuntivo por folículos ováricos y conductos del tejido reproductivo (Lowe *et al.*, 1982; Pipe, 1987). En organismos con algún grado de madurez, el tejido gonadal se ubicó tanto en el manto

como en el lóbulo gonadal, ocupando mayor espacio cuando estos se encontraban en fase III o IV. Calvo *et al.* (1998), describieron este comportamiento, e indicaron que el tejido conectivo puede formar parte del manto o reducirse en las etapas de mayor desarrollo gonádico.

La proporción sexual favoreció a las hembras, hallando una relación de 1H: 0.84M, difiriendo del esperado de 1:1 con un χ^2 de 6.75. Esta relación ha sido reportada para otros bivalvos, siendo común hallar una mayor proporción de hembras en poblaciones naturales (Toro *et al.*, 2002; Kenchington *et al.*, 2002; Yusa, 2007; Oyarzún *et al.* 2011) con un porcentaje a su favor de 3% a 12%, siendo rara la proporción que favorece a los machos (Pelseneer, 1926). Estos casos han sido reportados debido al parasitismo preferente sobre hembras de algunas especies (Osorio y Castillo, 1984, Aitken-Ander y Levin, 1985). En los organismos evaluados no se encontró ningún tipo de parásito asociado, pero particularmente en diciembre el número de organismos indiferenciados fue de 35.1% y, de tallas inferiores a los 40 mm de LV, incidiendo directamente sobre organismos considerados virginales. Sibaja (1986) observó una proporción sexual similar a la observada en este estudio, con una relación de 1,16H:1M en un estudio comparativo entre *A. atra*, *M. guyanensis* y *C. chorus*. Por su parte Toro *et al.* (2002) observaron este caso en poblaciones de *M. trossulus* e híbridos (*M. trossulus* x *M. edulis*) en la costa de Newfoundland, asociando este fenómeno a algún tipo de herencia genética materna (Kenchington *et al.* 2002).

Durante todos los meses de estudio, solo se identificó un organismo hermafrodita. Esta particularidad ha sido reportada también para otros bivalvos como un caso aislado y poco frecuente (Vinuesa, 1977), debido a la alta estabilidad sexual dioica propia de la familia Mytilidae (Mikhailov *et al.* 1995).

El desarrollo gonadal de los moluscos bivalvos puede ser evaluado a través de la observación directa del tamaño, color y forma de la gónada (Mason, 1958), mediante análisis histológico (Seed, 1976, Ishiyama y Kuwae, 1992; Ishiyama y Guerrero 1998), diámetro medio de los ovocitos (Muranaka y Lannan, 1984) o asociando la histología con métodos cuantitativos (Choi y Chang, 2003; Oyarzún *et al.*, 2010; Oyarzún *et al.*, 2011). Para la elaboración de la presente escala, se identificaron y describieron 6 fases de madurez gonadal, que va de 0 al V (virginal, en maduración, maduro, desovante/expulsante, recuperación/post-expulsión, reposo). Hunter y Macewicz (1985) sugieren que estas fases deben ser definidas en base al tipo de células presentes y predominantes en la observación ya que, la caracterización de la ovogénesis y espermatogénesis se apoya en el reconocimiento de los diferentes tipos de células y a los cambios de la proporción en que aparecen (Calvo *et al.*, 1998). Asimismo, criterios adicionales fueron considerados, tomando en cuenta las recomendaciones hechas por Kjesbu *et al.* (2003) en el “Grupo de trabajo sobre enfoques modernos para evaluar la madurez y fecundidad de peces y calamares de aguas cálidas y frías” y los trabajos

realizados por Ortiz *et al.* (2008), Paredes (2010) y Perea y Gálvez (2015), donde se definieron criterios microscópicos, considerando la diferenciación entre organismos virginales y adultos en reposo gonádico.

La escala de madurez desarrollada para *A. atra* por Ishiyama y Guerrero (1998), cuenta con 5 fases de madurez gonadal: Indiferenciado, inmaduro, en desarrollo, maduro y desove (parcial y total); mientras que la empleada por Jaramillo y Navarro (1995) cuenta con 4 fases: en desarrollo, maduro, desovante y post-desovante. En ambos casos se emplearon características subjetivas para la descripción de cada fase, siendo estas principalmente observaciones morfológicas y tipos de ovocitos presentes. En otras especies de la misma familia como *Perumytilus purpuratus* (Oyarzún *et al.* 2010) y *Mytilus chilensis* (Oyarzún *et al.* 2011) se realizó la descripción del ciclo gametogénico considerándose también 4 fases: en maduración, maduro, desove y post-desove. Sin embargo, en ninguna de las escalas se describe la fase virginal, no diferenciando la fracción juvenil de la adulta, incidiendo directamente en el cálculo de algunos índices reproductivos.

Para el adecuado manejo de los recursos pesqueros, es indispensable contar con información sobre su condición reproductiva, y para ello la aplicación de índices reproductivos es una herramienta fundamental, ya que provee información sobre el estado actual de los stocks. Estos índices se pueden obtener a partir de la observación y adecuada caracterización de las fases de la madurez gonadal (Buitrón *et al.*, 2015), delimitando apropiadamente cada una de estas (Calvo *et al.*, 1998), con el fin de evitar la sobreestimación de estos.

En este trabajo se observó el marcado predominio del desove de setiembre a diciembre tanto en hembras como en machos, al igual que en los trabajos de Ishiyama y Guerrero (1998) y Gamarra y Cornejo (2002) Los resultados obtenidos evidenciaron además la baja fracción desovante en los demás meses del periodo de estudio; mientras que la fracción expulsante presentó valores considerables en febrero y mayo.

El trabajo desarrollado por Jaramillo y Navarro (1995) en esta especie en la zona sur de Chile, describió un continuo desove a lo largo del año, coincidiendo con lo hallado por Alarcón y Valdivieso (1985) en la zona del Callao; quienes además indicaron una mayor intensidad del desove entre agosto y noviembre, con los más altos valores al comienzo de la primavera, al igual que Avendaño y Cantillanéz (2012) y Griffiths (1977). Mientras Los trabajos realizados en la costa argentina por Vinuesa y Tortorelli (1980), Tortorelli (1987) y Pérez *et al.* (2013) hallaron resultados similares, reportando que *A. atra* alcanzó la madurez gonadal en invierno con extensos periodos de desove desde finales de invierno hasta el verano, coincidiendo con el periodo con mayor actividad reproductiva hallado en este trabajo.

Debido al carácter sésil de la especie estudiada, la gametogénesis y el desove pueden verse influenciados por diversos factores exógenos y endógenos (Giese, 1959), no presentando un patrón reproductivo específico, sino, un conjunto de condiciones dadas en el lugar donde habita la población, influenciando la periodicidad gamética (Oyarzún *et al.* 2010). En tal sentido, en las diversas poblaciones estudiadas, la madurez se alcanzó hacia finales de invierno y el desove comenzó en los meses de primavera, poniendo en evidencia la estrecha relación de la gametogénesis en este recurso y los cambios en la temperatura del ambiente (Lozada, 1968; Griffiths, 1977; Wolff, 1988 en Oyarzún *et al.* 2010; Gray *et al.*, 1997), mientras que otros autores señalan que en muchos bivalvos el periodo de desove está influenciado por la disponibilidad de alimento (Bayne, 1976). No obstante, el trabajo realizado por Pérez *et al.* (2013) sobre la relación entre la gametogénesis y la asignación de energía en *Aulacomya atra*, no identificó ninguna correlación.

Los resultados del presente estudio expusieron la relación directa entre el descenso de la temperatura y el comienzo del desove. Es así como, al llegar a la temperatura más baja durante setiembre (14.29 °C), se identificó la más alta proporción de organismos en fase IV, similar a lo descrito por Lozada (1968) y Griffiths (1977), quienes indicaron que sería el descenso de la temperatura y los cambios que trae consigo en el medio, los factores que desencadenarían el desove; es decir, una convergencia de parámetros exógenos, incluyendo la disponibilidad de alimento.

El reposo y la recuperación/post-expulsión se presentó en bajas proporciones, siendo junio el mes con mayor proporción de organismos bajo esta condición, más evidente en machos. Jaramillo y Navarro (1995) observaron, en poblaciones chilenas, este fenómeno principalmente en febrero y marzo, donde el 70% de hembras y 100% de machos presentaron esta condición; mientras que Vinuesa y Tortorelli (1980) observaron esta misma condición entre marzo y mayo, indicando que se presentaron como claros pero breves momentos de reposo gonadal, al igual que lo observado en este trabajo. En hembras se identificó la degradación de ovocitos y procesos de atresia, reportado también para otros mitílidos como *M. edulis* (Pipe, 1987) y *M. galloprovincialis* (Suarez *et al.* 2007) como producto de las condiciones ambientales no favorables, no siendo posible distinguir estos procesos de reabsorción en machos debido a la baja cantidad de citoplasma presente en los espermatozoides (Suarez *et al.* 2007).

Se ha comprobado que el desarrollo gonadal inicia con el crecimiento de células primordiales a partir de un epitelio germinal indiferenciado de origen mesodérmico que, permanece latente en el tejido conjuntivo después de cada periodo reproductivo (Morton, 1960), el cual da origen al desarrollo de los folículos ováricos y dentro de estos, las células germinativas (ovogonias, ovocitos primarios y secundarios) en el proceso de maduración.

Mediante el análisis cualitativo realizado, se identificaron 5 tipos de células sexuales para hembras (Ovogonia, ovocito inmaduro, en maduración, maduro y atrésico), cuyas proporciones variaron en función al grado madurez gonadal; y, en machos se identificó de 3 tipos de células sexuales (Espermatogonia, espermatocito y espermatozoide).

En otros trabajos se han identificado un mayor número de células sexuales tanto en hembras como en machos (Garrido y Gallardo 1996, Ortíz *et al.* 2008). El trabajo realizado por Garrido y Gallardo (1996) en ultraestructura del esperma de mitílidos, se reconocieron 5 tipos de células (Espermatogonia, espermatocito primario y secundario, espermátide y espermatozoide), empleando un microscopio electrónico de transmisión, describiendo que la cabeza del espermatozoide es cónica y mide alrededor de 6.3 μ m de longitud.

El desfase de la evacuación de gametos, así como en la intensidad de la descarga puede estar influenciado por la complejidad de la ovogénesis frente a la espermatogénesis, ya que este último requiere menos tiempo y energía para la elaboración de los gametos (Mackie, 1984; Clark, 1978; Schroeder, 1987). Así, se identificó la expulsión inicial de machos con una proporción de organismos no superior al 25% durante la época principal de desove, seguido del desove masivo de hembras en setiembre y meses posteriores. Sin embargo, se exhibió una intensa expulsión en febrero y mayo, así como la continua maduración probablemente debido a que la espermatogénesis es un proceso más rápido que la ovogénesis y con mayor grado de recuperación (Calvo *et al.*, 1998).

La talla de madurez fue calculada a los 38.5 mm de longitud valvar y la de desove a los 39.1 mm. En Perú, este parámetro fue calculado también por Ishiyama y Guerrero (1998) en la zona de Huarmey, hallándolo a los 13,8 mm y 13,5 mm de LV para hembras y machos, respectivamente; mientras que en Argentina esta talla se encuentra entre los 50 y 60 mm de LV (Molina *et al.*, 2015).

La talla de madurez (TM) calculada en el presente estudio se encontró por debajo de la talla mínima de extracción (TME) vigente (65 mm de LV) reflejando directamente la maduración temprana probablemente debido a la fuerte presión pesquera sobre todo en las áreas accesibles para la pesca, donde el esfuerzo de pesca es alto debido al elevado número de embarcaciones dedicadas a la actividad extractiva del choro (García, 2015). El trabajo realizado por Sepúlveda *et al.* (2016) identificó la talla media de *A. atra* en la zona de Ilo a los 36.8 mm \pm 17.5 mm, difiriendo de lo reportado en años anteriores para esta misma zona (70 mm) (IMARPE, 2007) evidenciando la activa explotación de los bancos de la zona sur, explicando así el inicio de la madurez a menores tallas. Del mismo modo, el trabajo desarrollado por García (2015) en la región Lima, menciona que la talla media para este recurso en Huacho es de 53 mm, en Callao de 49 mm y en Pucusana

en 37 mm de LV, todas por debajo de la TMC, además de identificar que la tasa de mortalidad natural (~10%) es inferior a la tasa de mortalidad por pesca (~14%).

Los estimados del IAD e IAE mostraron sus más altos valores durante los meses de primavera, identificándolo como principal época reproductiva; sin embargo, el IAR presentó valores superiores al 40% durante la mayoría de los meses de muestreo; por su lado, el FC mostró valores acordes a las épocas de actividad e inactividad reproductiva.

V. CONCLUSIONES

- *Aulacomya atra* presenta reproducción de tipo parcial, con maduración continua y sincrónica, y un pico máximo de evacuación de gametos en setiembre.
- La proporción sexual favoreció a las hembras, con una relación de 1,2:1 de hembras respecto a machos, característica que recae dentro de lo que normalmente sucede en poblaciones naturales de bivalvos.
- Se identificó que, en hembras y machos, la maduración comprendió 2 fases inactivas: virginal y reposo y 4 activas: en maduración, maduro, desovante/expulsante y recuperación/post-expulsantes.
- Los índices reproductivos aplicados evidencian que la época principal de reproducción se da en los meses de primavera, pudiendo extenderse a verano.
- La talla de madurez calculada para hembras fue a los 38.5 mm de LV y la de desove a los 39.1 mm de LV.
- Se identificó una relación directa entre el descenso de la temperatura (14.29°C) y el inicio de la gametogénesis

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar una evaluación que abarque un periodo más extenso para delimitar la época de desove principal e identificar la época secundaria.
- Evaluar la relación entre la tasa de asentamiento larval y las corrientes marinas en la zona sur con el fin de determinar las principales zonas de desplazamiento de larvas.
- Considerar los datos obtenidos para establecer una época de veda sobre el recurso de setiembre a diciembre para proteger la reproducción y los reclutas, asegurar una alta tasa de asentamiento larval para la sostenibilidad del recurso.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Aitken-Ander, P., y Levin, N. (1985). Occurrence of adult and developmental stages of *Proctoeces maculatus* in the gastropod *Crepidula convexa*. Transactions of the American Microscopical Society. 104, 250-260.

Álamo, V., Valdivieso, V. (1997). Lista sistemática de moluscos marinos del Perú (segunda edición, revisada y actualizada). Bol. Inst. Mar del Perú. pp 99

Alarcón, V., Valdivieso, V. (1985). Comportamiento del ciclo sexual y cambios en la abundancia del choro (*Aulacomya ater*) en el área del Callao durante El Niño 1982-83. Ciencia, Tecnología y Agresión Ambiental: El Fenómeno del Niño, pp 483-510.

Avendaño, M., Cantilláñez, M. (2012) Reproductive Cycle, collection and early growth of *Aulacomya atra* Molina, 1782 (Bivalvia: Mytilidae) in northern Chile. Aquaculture Research, 1-12.

Avendaño, M., Cantilláñez, M. (2014) Reproductive Cycle of *Aulacomya atra* [Bivalvia: Mytilidae (Molina, 1782)] in Punta Arenas Cove (Antofagasta Region, Chile). Aquacult Int, 22: 1229-1244

Belapatiño, A. (2007). Variabilidad del asentamiento larval de mitílidos en Bahía Independencia, Pisco-Perú, durante el periodo 1996 – 2003. Tesis para optar por el título profesional de Biólogo con mención en Hidrobiología y Pesquería. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. 65 pp.

Bayne BL. (1976). Marine mussels: Their ecology and physiology, 506. pp. Cambridge University Press, Cambridge.

Buitrón, B., Perea, A., Mori J., Sánchez, J., Roque, C., Castillo, J., Gálvez, Ma. (2015). Escalas macroscópicas de madurez gonadal de algunos peces de importancia comercial validadas microscópicamente. Bol Inst Mar Peru, Vol 30 No 1-2 pp 10.

Cancino, J., Becerra, R. (1978). Antecedentes sobre la biología y tecnología del cultivo de *Aulacomya atra* (Molina, 1782) (Mollusca: Mytilidae). Biología Pesquera, Chile, 10: 27–45.

Calvo, J., E. Morriconi & P.M. Orlear. (1998). Estrategias reproductivas de bivalvos y equinoideos. In: E.E. Boschi (ed.). El mar argentino y sus recursos pesqueros. Offset Vega, Mar del Plata, pp. 195-231

Cavero, P., Rodríguez, P. (2008). Producción sostenida de moluscos bivalvos en el Perú: acuicultura y redoblamiento. En Lovatelli A, Farias A, Uriarte I. (eds). Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina. Taller Técnico Regional de la FAO. 20–24 de agosto de 2007, Puerto Montt, Chile. FAO Actas de Pesca y Acuicultura. No. 12. pp. 209–218.

Choi YH & Chang YJ. (2003). Gametogenic cycle of the transplanted culture pearl oyster, *Pinctada fucata martensi* (Bivalvia, Pteridae) in Korea. *Aquaculture*, 220: 781-90.

Clark, W.C. (1978). Hermaphroditism as a reproductive strategy for metazoans; some correlated benefits. *N.Z. J. Zool*, 5: 769-780.

Cornejo, O., Gamarra, A. (1998). Efecto negativo de los eventos “El Niño” sobre la población del “Choro” *Aulacomya atra* (Molina) (Bivalvia: Mytilidae) del área de Pisco. VII RC ICBAR.

Díaz, A., Ortlieb, L. (1993). El Fenómeno “El Niño” y los moluscos de la costa peruana. *Bull. Inst. fr. études andines*, 22 (1): 159-177.

FAO. (2017). Fishery information, data and statistics unit.

Gamarra, A., Cornejo, O. (2002). Study of the mussel *Aulacomya atra*, Molina, 1782 (Bivalvia: Mytilidae), near Santa Rosa Island, Independence bay, Perú, during the “El Niño” phenomenon 1997–98. *Inv. Mar. Valparaíso* 30 Suppl. Symposium, pp 140

García, E. 2015. Determinación de la mortalidad total del Choro (*Aulacomya ater*) en la región Lima, Callao. Informe final de Proyecto de Investigación. Universidad Nacional del Callao. 34 pp.

Gardner, P.A., Skibinski, D.O.F. (1990) Genotype-dependant fecundity and temporal variation in spawning in hybrid mussels (*Mytilus*) populations. *Mar. Biol.* 105: 153-162.

Garrido, O., Gallardo, C.S. (1996). Ultrastructure of sperms in bivalve molluscs of the Mytilidae family. *Invertebrate reproduction and development*. Vol. 29, Iss. 2: 95 – 102.

GEF-ONUDI-IMARPE-IFOP. (2002). Proyecto ‘Manejo integrado gran ecosistema marino de la corriente de Humboldt’. Módulo II: Recursos y pesquerías, pp 99-101.

Giese, A. (1959). Comparative physiology: annual reproductive cycle of marine invertebrates. *Annual Review of Physiology*, 21: 547-576.

Gray, A.; Seed, R.; Richardson, C. (1997). Reproduction and growth of *Mytilus edulis chilensis* from the Falkland Islands. *Sci. Mar.*, 61 (Supl. 2): 39 – 48.

Griffiths, R. (1977). Reproductive cycles in littoral populations of *Choromytilus meridionalis* (Kr.) and *Aulacomya atra* (Molina) with a quantitative assessment of gamete production in the former. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 30: 53–71.

Griffiths, C. L., King, J. A. (1979). Energy expended on growth and gonad output in the ribbed mussel *Aulacomya ater*. *Mar. Biol.*, 53: 217-222

Guzmán, N., Saá, S., Ortileb, L. (1998). Catálogo descriptivo de los moluscos litorales (Gastrópoda y Pelecypoda) de la zona de Antofagasta 23°S (Chile). *Estud. Oceanol.*, 17: 17-86.

Humason, G. (1979). *Animal Tissue Techniques*. Fourth Edition W.H. Freeman co. San Francisco. pp 661.

Hunter, J. y Macewicz, B. (1985). Measurement of spawning frequency in multiple spawning fishes. In: R. lasker (ed.). An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the north anchovy, *Engraulis mordax*. NOAA tech. Rep. NMFS, 36:79-94.

Informe Técnico (R. Pesq.) No 10. (2005). Cierre de Registro Pesquero Artesanal de Recursos Bentónicos de la II Región. Sub-Secretaría de Pesca. Gobierno de Chile.

Instituto del mar del Perú. (2007). Seguimiento de pesquerías y evaluación de recursos pesqueros. Eval. POI – PTI 2007 IV Trimestre, pp 8.

Ishiyama, V. y Kuwae, S. Ciclo reproductivo de *Glycymeris ovata* (Arcoida, Glycymeridae). *Bol. Lima* 1992; 80: 85-90.

Ishiyama, V. y Guerrero, A. (1998). Biología reproductiva del molusco *Aulacomya atra* (Pelecypoda, Mytilidae) de la Zona de Huarmey, Perú. *Boletín de Lima*. N°112, pp 85 – 96

Jaramillo, R., Navarro, J. (1995). Reproductive Cycle of the Chilean Ribbed Mussel *Aulacomya atra* (Molina, 1782). *Journal of Shellfish Research*, 14 (1): 165-171.

Kenchington, E., B. MacDonald, L. Cao, D. Tsagkarakis & E. Zouros. (2002). Genetics of mother-dependent sex ratio in blue mussels (*Mytilus* spp.) and implications for doubly uniparental inheritance of mitochondrial DNA. *Gen. Soc. Am.*, 161: 1579-1588.

Kjesbu, O.S., Hunter, J.R., Witthames, P.R. (2003). Plenary document. En: Report of the working group on Modern approaches to assess maturity and fecundity of warm- and cold- water fish and squids. Bergen (4-7-September 2001):7-9.

Lozada, L. E. (1967). Informe sobre madurez sexual y crecimiento de la población de *Mytilus edulis chilensis* (Húpe, 1854) en Nercón, Estero de Castro, Chiloé: Contribución al estudio de la cholga *Aulacomya ater* en Putemún. *Biol. Pesq.* :3-38.

Lozada, E. (1968). Contribución al estudio de la cholga (*Aulacomya atra*) en Putemún. *Biología Pesquera* (Chile), 3: 3-38.

Lozada, E., Rolleri, J. & Yañez, R. (1971). Consideraciones biológicas de *Choromytilus chorus* en dos sustratos diferentes. *Biología Pesquera* (Chile) 5: 61 – 108.

Lowe, D.M, Moore, M.N & Bayne B.L. (1982). Aspects of Gametogenesis in the marine mussel *Mytilus edulis* L. *J. mar. boil. Ass. U.K.* 62: 133 – 145.

Mackie, G. (1984). Bivalves. In: A. Tompa, N. Verdonk & J. Van den Biggelaar (eds.). *The Mollusca*. Academic Press, New York, pp. 351-418.

Maloy, A.P. (2001). Gametogenic Cycles of Marine Mussels, *Mytilus edulis* and *Mytilus trossulus*, in Cobscook Bay, Maine. *Electronic Theses and Dissertations*. Paper 146.

Marincovich, L. (1973). Intertidal mollusks of Iquique, Chile. *Natural History Museum Los Angeles County Science Bulletin* 16: 1-49.

Mason, J. 1958. The breeding of the scallop, *Pecten maximus* (L.), in Manx Waters. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, 37: 653-671.

Mikhailov, A., M. Torrado, and J. Mendez. 1995. Sexual differentiation of reproductive tissue in bivalve mollusks: Identification of male associated polypeptide in the mantle of *Mytilus galloprovincialis* Lmk. *The International Journal of Developmental Biology* 29: 545–548.

Molina, M., Custodio, H., Darrigran. G. 2015. Fichas Malacológicas – La cholga. *Revista Boletín Biológica* N° 33 (9) pp. 31.

Morton, J. E. 1960. Mollusc. New York: Harper and brothers.

Muranaka, MS; Lannan, JE. (1984). Broodstock management of *Crassostrea gigas*: environmental influences on broodstock conditioning. *Aquaculture* 39:217-228.

Navarro, J., Gutiérrez, A. (1990). Sinopsis sobre el estado actual del cultivo de mitílidos en Chile. *Cultivo de moluscos en Latinoamérica. Memorias de la Asociación Latinoamericana de Acuicultura. Segunda reunión de trabajo técnico*, pp. 189–210.

Newel, R.E., Hilbish, T.J., Koehn, R.K., Newel, C.J. (1982). Temporal variation in the reproduction cycle of *Mytilus edulis* L. (*Bivalvia*, *Mytilidae*) from localities on the east coast of the United States. *Bio. Bull.*, 162: 299-310.

Ortíz, K., Iannacone, J. Perea, A., Buitron, B. (2008). Biología reproductiva de la “Concha corazón” *Trachycardium procerum* (Sowerby, 1833), Chimbote, Perú. *The Biologist* (Lima). 2008, 9: 66 – 97.

Osorio, C. y Castillo, M. (1984). Almejas comestibles (*Venus antiqua*) infectadas por tremátodos. *Parasitología al Día* 8: 117-118.

Ostos M, Ishiyama V, Quinte G & Aguilar P. (2000). Biología reproductiva de *Semele solida* (*Bivalvia*: *Semelidae*) durante post El Niño 1998-99. *Wiñay Yachay*, 4(1): 53-60.

Oyarzún, P., Toro, J., Jaramillo, R., Guiñez, R., Briones, C., Astorga, M. (2010). Análisis comparativo del ciclo gametogénico de *Perumytilus purpuratus* (*Bivalvia*: *Mytilidae*), en las localidades de Taltal y Huasco, norte de Chile. *Rev. biol. mar. Oceanogr.*, 45(1): 43-58.

Oyarzún, P., Toro, J., 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.

Paredes, J. (2010). Escala y talla de primera madurez gonadal en “Navaja” *Tagelus dombeii* (Lamarck, 1818) entre las zonas de Parachique – Las Delicias, 2009. Tesis para optar por el título profesional de Biólogo. Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú. 74 pp.

Pelseneer, P. (1926). La proportion relative des sexes chez les animaux et particulièrement chez les mollusques. *Mem. acad. roy. Belg, Classe Sci.* 2(8): 1-258.

Perea, A.; Galvez, MA. (2015). Escala de madurez gonadal de *Mesodesma donacium* (Bivalvia:Mesodesmatidae). *The Biologist* 13(2) : 257 – 269.

Pérez, A., Boy, C., Curelovich, J., Pérez-Barros, P., Calcagno, J. (2013) Relationship between energy allocation and gametogenesis in *Aulacomya atra* (Bivalvia:Mytilidae) in a sub-Antartic environment. *Revista de Biología Marina y Econegocios*, 48 (3): 459-469.

Pipe, R.K. (1987). Ultrastructural and cytochemical study on interactions between nutrients storage cells and gametogenesis in the mussel *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.*, 96 (4): 519 – 528.

PRODUCE. (2016). Anuario estadístico pesquero y acuícola 2015. Ministerio de la Producción. Pp.25.

Sánchez, J., Perea, A., Buitrón, B., Romero, L. (2013). Escala de madurez gonadal del jurel *Trachurus murphyi* Nichols 1920. *Rev. Peru. Biol.* 20(1)

Sastry, A.N. (1979) Pelecypoda (excluding Ostreidae). In: Giese, A.C., Pearse, J.S. (ed) *Reproduction of Marine Invertebrates*, Academic Press, New York, pp 1 13-292

Schroeder, P.C. (1987). Endogenous control of gametogenesis. In: A.C. Giese & J.S. Pearse (eds.). *Reproduction of marine invertebrates*. Blackwell Scientific, California, pp. 180-251.

Seed, R. (1976). Ecology. In: Bayne, B.L. (ed.) *Marine mussels: their ecology and physiology*. Cambridge University Press, Cambridge: 13 – 65.

Sepúlveda, R., Camus, P., Moreno, C. 2016. Diversity of faunal assemblages associated with ribbed mussel beds along South American coast: relative roles of biogeography and bioengineering. *Mar Ecol*, 37: 943–956.

Sibaja, W.G. (1986). Madurez sexual en el mejillón chora *Mytella guyanensis* Lamarck, 1819 (Bivalvia: Mytilidae) del manglar en Jicaral, Puntarenas, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 34(1): 151:155.

Soenens, P. (1984). Crecimiento y diversidad en Comunidades del choro *Aulacomya atra* (Molina, 1782) durante el periodo diciembre 1981 a mayo 1983, en las áreas de Pisco y Huacho. Lima (PE). Tesis para optar por el título profesional de Biólogo Univ. Nac. Agraria La Molina, Lima, Perú: 57 pp.

Soot-Ryen, T. (1959). Pelecypoda. Reports of the Lund University Chile Expedition 1948-49. Lunds Universiteit Arsskryft N.F. Avd. 2, 55(6): 83 P.

Suárez P., Álvarez, C., Molist, P., San Juan, F. 2007. Atresia gonadal durante el ciclo gametogénico de *Mytilus galloprovincialis* Lamark, 1819 cultivado en la ría de Vigo (noroeste de la península Ibérica). Bol. Inst. Esp. Oceanogr. 23 (1 – 4): 3 – 10.

Tarazona, J., Paredes, C., Romero, L., Guzmán, S. (1987). Recolonización de las comunidades de Mitílidos en la Costa Central del Perú después de El Niño 1982 – 83. Boletín Volumen Extraordinario Inst. Mar Perú TOMO I. pp 115-120.

Tejada, A. y Baldarrago, D. (2016). Monitoreo biológico-poblacional de *Aulacomya atra* en el litoral de Moquegua y Tacna, 2014. Inf Inst Mar Perú, Vol. 43 No. 1.

Thorarinsdóttir, G., Gunnarsson, K. & Dam, M. (2004). The gametogenic cycle and spawning in *Mytilus edulis* in the Faroe Islands. Fróðskaparrit 51, pp. 270-279

Tomicic, J. (1968). La cholga de los bancos de Mejillones. Apuntes Oceanológicos, 4:14-15.

Toro, J.E., R.J. Thompson & D.J. Innes. (2002). Reproductive isolation and reproductive output in two sympatric mussel species (*Mytilus edulis*, *M. trossulus*) and their hybrids from Newfoundland. Mar. Biol., 141(5): 897-909.

Tortorelli MC. (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. PhD Thesis, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 257 pp.

Tresierra, A., Culquichicón, Z., Veneros, B. 2002. Biología reproductiva de peces. Editora Nuevo Norte S.A. Trujillo – Perú. 286 pp.

Valle, S.; Tarazona, J.; Indacochea, A.; Ramos, E.; y Serrano, W. (2002). Variabilidad inducida por el ciclo del ENOS en la densidad poblacional de algunos invertebrados bentónicos de bahía Independencia, Pisco-Perú. En: Jaime Mendo y Matthias Wolf (eds.). Memorias: I Jornada Científica. Bases Ecológicas y Socioeconómicas para el manejo de los recursos vivos de la Reserva Nacional de Paracas. Universidad Nacional Agraria La Molina, 68 -76.

Vinuesa JH. (1977). Sobre un caso de hermafroditismo en la cholga *Aulacomya ater* (Molina). Physis 37: 63-65.

Vinuesa, J., Tortorelli, M. (1980). Ciclo sexual de la cholga *Aulacomya atra* (Molina), en Puerto Deseado. *Physis (A)*, 39 (96): 21-32.

Weibel, E. (1979). *Stereological methods*. Vol. 1: Practical methods for biological morphometry. Academic Press, London.

Wolff, M. (1988). Spawning and recruitment in the Peruvian scallop *Argopecten purpuratus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 42:213 – 217.

Yusa, Y. (2007). Causes of variation in sex ratio and modes of sex determination in the Mollusca-an overview. *Am. Malacol. Bull.*, 23(1): 89-98.

Zaixso HE. (2003). Ecología de la cholga, *Aulacomya atra atra*. XXIII Congreso de Ciencias del Mar. Punta Arenas, Chile, p.51, resumen.

Zaixso, H. (2004). Bancos de cholga *Aulacomya atra atra* (Molina) (Bivalvia: Mytilidae) del golfo San José (Chubut, Argentina): diversidad y relaciones con facies afines. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 39: 61–78.

Zúñiga, O. (2002). Guía de Biodiversidad No 1 Vol. I Macrofauna y algas marinas. Centro Regional de Estudios y Educación Ambiental (CREA). II Región de Antofagasta – Chile, pp. 63.

ANEXOS

- 1. Procedimiento del procesamiento histológico**
- 2. Procedimiento de coloración con Hematoxilina – Eosina.**

