



<https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop..v70i1.49308>

## Reproducción y limitaciones de pesca recomendadas para el caracol marino *Hexaplex princeps* (Neogastropoda: Muricidae) en Guerrero, México

Alma Rubí Castrejón-Ríos<sup>1</sup>; <https://orcid.org/0000-0001-5188-1133>

Jesús G. Padilla-Serrato<sup>1,2</sup>; <https://orcid.org/0000-0001-6815-9147>

María del Pilar Torres-García<sup>3</sup>; <https://orcid.org/0000-0003-1742-534X>

Erika Samantha Palacios-Ávila<sup>3</sup>; <https://orcid.org/0000-0002-3816-3628>

Carmina Torreblanca-Ramírez<sup>1</sup>; <https://orcid.org/0000-0002-0901-296X>

Pedro Flores-Rodríguez<sup>1</sup>; <https://orcid.org/0000-0003-3246-5788>

Rafael Flores-Garza<sup>1\*</sup>; <https://orcid.org/0000-0002-6926-3250>

1. Facultad de Ecología Marina, Universidad Autónoma de Guerrero, Av. Gran Vía Tropical No. 20, Frac. Las Playas, Acapulco, Guerrero, México; [riverscastrejon@gmail.com](mailto:riverscastrejon@gmail.com), [jgpaddillaserrato@gmail.com](mailto:jgpaddillaserrato@gmail.com), [carminatorreblanca@yahoo.com.mx](mailto:carminatorreblanca@yahoo.com.mx), [pfloresrodriguez@yahoo.com](mailto:pfloresrodriguez@yahoo.com), [rfloresgarza@yahoo.com](mailto:rfloresgarza@yahoo.com) (\*Correspondencia)
2. Programa de Investigadoras e Investigadores por México-CONACYT, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), Ciudad de México, México.
3. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000, Circuito Exterior S/N Delegación Coyoacán, Ciudad Universitaria, Ciudad de México, México; [pilar.torres@ciencias.unam.mx](mailto:pilar.torres@ciencias.unam.mx), [erisa2313@ciencias.unam.mx](mailto:erisa2313@ciencias.unam.mx)

Recibido 14-XII-2021. Corregido 08-IV-2022. Aceptado 06-VI-2022.

### ABSTRACT

#### Reproduction and recommended fishing limitations for the marine snail *Hexaplex princeps* (Neogastropoda: Muricidae) in Guerrero, Mexico

**Introduction:** The snail *Hexaplex princeps* is the most important gastropod in the fishery of Guerrero, but capture is not legally regulated for lack of enough studies about its reproduction, growth and other fishing aspects.

**Objective:** To assess fishery data for *H. princeps* in Guerrero.

**Methods:** From October 2016 to December 2017, we analyzed histological samples of the gonads from 6 to 13 individuals per month. We also collected data on pre-reproductive organisms captured in Costa Chica (2013 and 2014), Costa Grande (2017) and Acapulco (2019 and 2020).

**Results:** Both sexes have five stages of gonadal development; most reproductive activity was from December to July, related to sea surface temperatures of 26 to 28 °C. The  $LC_M$  in females was 94.1 mm (males: 86.1 mm). There was a high percentage of juvenile organisms in the catches (88.6 %).

**Conclusions:** To let these snails reproduce at least once, we recommend a fishing ban from December to July, and that the minimum size of commercial capture be set at 94.1 mm.

**Key words:** histology; caracol chino; riparian fishing; reproductive activity; mollusk population; fisheries management.

El caracol *Hexaplex princeps* (Broderip, 1833), representa actualmente, en el estado de Guerrero, al gasterópodo de mayor importancia en la pesca ribereña, el volumen que se captura de esta especie, es el más alto, comparado con otros gasterópodos (Castro-Mondragon et al., 2015; Castro-Mondragon et al., 2016; Cerros-Cornelio et al., 2021; Galeana-Rebolledo et al., 2018), se usa como alimento para consumo humano y por la forma de su concha, es muy apreciado para elaborar bisutería y artesanías (Flores-Garza et al., 2012; Gorrostieta-Hurtado, & Trjillo-Toledo, 2012; Gutiérrez-Zavala & Cabrera-Mancilla, 2012; Holguín-Quñones et al., 2000). El *H. princeps*, forma parte de la familia Muricidae y es conocido comúnmente como “caracol chino”, se distribuye desde el Golfo de California, México hasta Perú. Alcanza una longitud de 125 mm, habita en la zona intermareal sobre rocas, se puede observar durante la marea baja extrema y mar adentro en aguas poco profundas (Keen, 1971). En el estado de Guerrero, la mayoría de las especies de moluscos que se capturan, no están sujetas a una regulación pesquera, el *H. princeps* no es una excepción a esta problemática. Se ha informado por Castro-Mondragón et al. (2016), que esta especie actualmente es la que sostiene la pesquería, ya que las poblaciones de sus congéneres *Hexaplex radix* (Swainson, 1821) y *Hexaplex regius* (Gmelin, 1971) se han reducido, dejando de ser redituables en la pesca ribereña. También se ha reportado, que esta especie era muy abundante en la zona submareal del arrecife de Tenacatita, Jalisco y que actualmente se ve con menos frecuencia (Landa-Jaime et al., 2013). En Puerto Ángel Oaxaca, México, *H. princeps* aporta alrededor del 80 % de la captura total de moluscos gasterópodos (Saito-Quezada et al., 2018).

Los estudios existentes sobre *H. princeps*, tratan principalmente sobre su taxonomía, ecología y pesquería (Castrejón-Ríos et al., 2015; Castro-Mondragon et al., 2015; Castro-Mondragon et al., 2016; Flores-Garza et al., 2012; Galeana-Rebolledo et al., 2018; Gutiérrez-Zavala & Cabrera-Mancilla, 2012; Molina et al., 2004; Witman et al., 2010). En cuanto a estudios sobre biología reproductiva

Saito-Quezada et al. (2018), describieron el ciclo reproductivo de *H. princeps* en Puerto Ángel, Oaxaca, México, dando a conocer información de referencia como la temporada de desove para posibles medidas de gestión.

Por otro lado, en la pesca ribereña del estado de Guerrero, la captura de *H. princeps*, se realiza durante todo el año y es considerada como pesca incidental, sustentada por permitidos para la extracción del ostión *Striostrea prismatica* (Castro-Mondragón et al., 2016; Cerros-Cornelio et al., 2021; Galeana-Rebolledo et al., 2018), además, no hay cifras oficiales de su captura, lo que impide realizar un análisis de la variabilidad de la producción anual. Sin embargo, Castro-Mondragón et al. (2016) estimaron un aproximado de 2 208 624 organismos capturados en un ciclo anual, mientras que en la Costa Grande la captura estimada es de alrededor de los 489 120 organismos por año (Cerros-Cornelio et al., 2021), no obstante, se considera que estas cifras son subestimaciones de los volúmenes reales de captura. Por otra parte, no se dispone de conocimientos biológicos pesqueros, para la elaboración de planes de manejo sustentables. En este contexto, es necesario recopilar información y realizar estudios sobre aspectos reproductivos y parámetros de crecimiento, que sirva como medidas de gestión para un manejo sostenible de la especie, es por ello que, el presente estudio, pretende contribuir al conocimiento del ciclo reproductivo, relacionar este ciclo con la temperatura superficial del agua y estimar la talla media de madurez de *H. princeps*, en Acapulco, Guerrero, así como, analizar la proporción de organismos, que se encuentran por encima de la talla mínima de captura en las tres regiones costeras del estado de Guerrero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estado de Guerrero se encuentra en el Pacífico Tropical Mexicano, en las coordenadas 16°18'57"-18°53'16" N & 98°00'26"-102°11'04" W.

Para el análisis histológico, se realizaron muestreos mensuales de octubre 2016 a



diciembre 2017 en Acapulco, se recolectaron de seis a 13 organismos por mes. La gónada de cada organismo se fijó en formol al 10 % y se conservaron en alcohol al 70 %. Las muestras se procesaron siguiendo el método descrito por Aguilar et al. (1996), se obtuvieron cortes de 7  $\mu\text{m}$  y se tiñeron mediante la técnica de Hematoxilina-Eosina. Para la caracterización de los diferentes estadios de desarrollo gonádico, se utilizó el criterio utilizado por Avila-Poveda y Baqueiro-Cárdenas (2009), Torres-García et al. (2016), adecuado a *H. princeps*. La proporción sexual, se determinó utilizando el análisis de Chi-cuadrado ( $H_{0=}$  1:1 Hembras-Machos), con un 95 % de confianza (Zar, 2014) y se comparó las tallas de longitud de concha entre machos y hembras usando la prueba no paramétrica de U de Mann-Whitney (95 % confianza).

Para obtener el ciclo reproductivo se calcularon las frecuencias relativas mensuales de cada estadio de desarrollo gonádico y se elaboraron gráficas de barras. Para relacionar el ciclo con la temperatura superficial del mar, los datos de temperatura se obtuvieron de NOAA-CIRES, Climate Diagnostics Center (Reynolds et al., 2002).

La talla media de madurez ( $LC_M$ ), se obtuvo utilizando los organismos con actividad reproductiva y se calculó la frecuencia relativa acumulada por intervalo de longitud y se estimó la longitud promedio de madurez ( $L_M$ ); esta se ajustó a un modelo utilizado por Brouwer & Griffiths (2005), con la siguiente ecuación:

$$P_i = \frac{1}{1 + \exp^{-(L_i - LC_M)/a}}$$

dónde:  $P_i$  es la proporción de individuos maduros/el total de un tamaño dado,  $r$  es la pendiente,  $L_i$  es longitud de la clase de talla  $i$  total en mm y  $LC_M$  talla media de madurez y  $a$  es el ancho de la ojiva.

El modelo se ajustó a través de la maximización del logaritmo negativo de verosimilitud (-Log likelihood):

$$-LL = \sum_{i=1}^n \left[ m_i \ln \left( \frac{pm_i}{1 - pm_i} \right) + n_i \ln(1 - pm_i) + \ln \left( \frac{n_i}{m_i} \right) \right]$$

dónde:  $n$  es el número total de individuos de la clase  $i$  y  $m$  es el número de organismos maduros en la clase  $i$ .

Se estimaron los intervalos de confianza de la talla media de madurez con base en los perfiles de verosimilitud y la distribución  $\chi^2$  (Venzon & Moolgavkar, 1988). El intervalo de confianza se definió como todos los valores de que satisfacen la siguiente desigualdad:

$$2(L(Y|\theta_{best})) < \chi_{1,1-\alpha}^2$$

dónde:  $L(Y|\theta_{best})$  es la log verosimilitud negativa del valor más probable de  $\theta$  y  $\chi_{1,1-\alpha}^2$  es el valor de  $\chi^2$  con un grado de libertad al nivel de confianza  $1-\alpha$ .

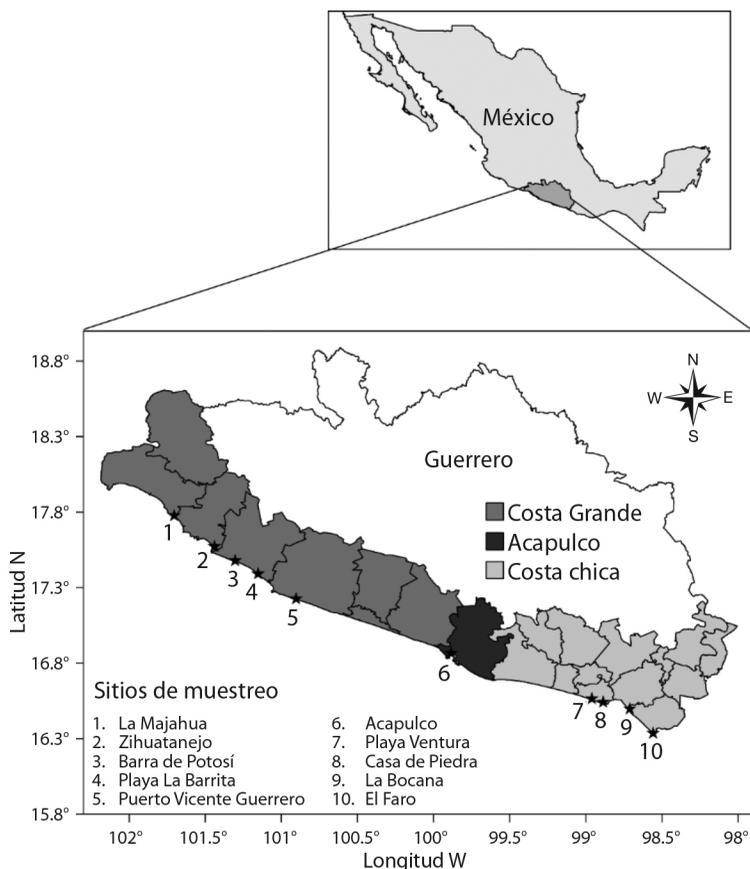
El intervalo de 95% de confianza para  $\theta$  abarca todos los valores  $\theta$  que son dos veces la diferencia entre la verosimilitud negativa de  $\theta$  y la verosimilitud negativa de la mejor estimación de  $\theta$  que sea menor a 3.84 (Haddon, 2011), utilizándose el siguiente estimador:

$$L(Y|\theta) = L(Y|\theta_{best}) - \frac{\chi_{1,1-\alpha}^2}{2}$$

Para analizar la proporción de organismos capturados, se utilizó las biometrías de longitud concha ( $LC$ ) de una base de datos de Costa Chica, levantada en 2013 y 2014, en las localidades de Playa Ventura, Casa de Piedra, La Bocana y el Faro y otra de Costa Grande, levantada en 2017, en las localidades de La Majahua, Zihuatanejo, Barra de Potosí, Playa la Barrita y Puerto Vicente Guerrero. Además, se realizaron muestreos mensuales en Acapulco de enero 2019 a marzo 2020 (Fig. 1).

Para conocer los rangos de tallas de la población, se utilizó gráficos de caja y bigotes para las diferentes zonas. Para identificar diferencias en la  $LC$  entre zonas, se utilizó la prueba de bondad de ajuste para dos muestras de Kolmogorov-Smirnov (Gotelli & Ellison, 2004) utilizando el paquete estadístico IBM-SPSS Statistics 25.

La longitud de captura ( $LC_C$ ) de *H. princeps*, se determinó utilizando los valores individuales de  $LC$  a través de la frecuencia acumulada, esta fue definida para cada zona



**Fig. 1.** Sitios de muestreo en las tres regiones del estado de Guerrero, México.  
**Fig. 1.** Sampling sites in the three regions of the state of Guerrero, Mexico.

de muestreo, obteniendo los parámetros  $a$  y  $b$  en el paquete Statistica 10. Se utilizó la función logística, cuya fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$F = \frac{1}{1 + e^{a+b \cdot LC}}$$

dónde:  $F$  es la fracción de individuos por intervalos de talla,  $a$  y  $b$  son constantes; y  $LC$  es la longitud de concha de los organismos.

La longitud en la cual el 50 % de la población es capturada ( $LC_C$ ) se estimó de la siguiente manera:

$$LC_C = a/b$$

Un análisis comparativo de la  $LC_C$  y talla media de madurez ( $LC_M$ ) por zona fue realizado con objetivo de observar la relación entre ambos parámetros. Además, se determinó el porcentaje de organismos que se encontraban por encima de la  $LC_M$  que fue determinado para las hembras de *H. princeps*, con base en esto fueron definidos los organismos adultos y juveniles. Se manejó como juveniles a los organismos menores a la longitud de madurez ( $< LC_M$ ) y los adultos fueron todos aquellos con talla igual o mayor a  $LC_M$  ( $\geq LC_M$ ), posteriormente para cada zona se definió la proporción de organismos juveniles y adultos que se están capturando en la pesca artesanal en la costa de Guerrero.

## RESULTADOS

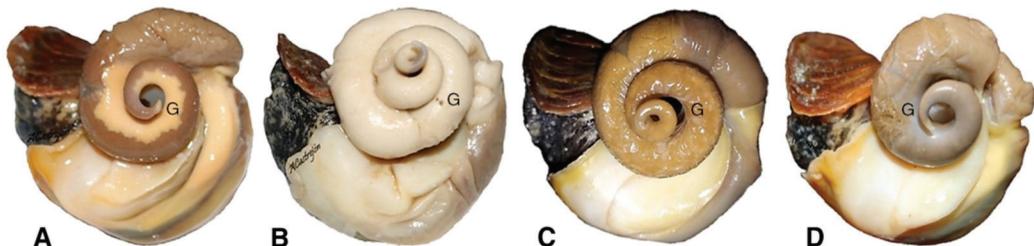
**Aspectos reproductivos:** Macroscópicamente, no es posible distinguir el sexo con la estructura de la concha en el *H. princeps*, pero si presenta sexos separados (presencia de falo o surco ovífero). No se advirtió diferencias en la coloración de la gónada femenina y masculina, ya que, para ambos sexos, su coloración fue amarilla-blancuecina. Se logró identificar cuatro estadios gonádicos, observando el porcentaje que ocupaba en el cono hepatogonadal (gametogénesis = de 10 a 50 %; madurez = 60 a 100 %; desove/expulsión = < 10 % observándose flácida y algo traslúcida y reposo = 0 %) (Fig. 2).

Para el ciclo reproductivo se analizaron histológicamente 145 ejemplares de *H. princeps*, 79 fueron hembras (54.5 %) y 66 machos (45.5 %). De acuerdo con la prueba  $\chi^2$  la proporción sexual fue 1:1 (H:M) ( $P > 0.05$ ) (Tabla 1). Las tallas de los especímenes analizados histológicamente, oscilaron de 47.25 a 106.75 mm de LC, con un promedio de  $77 \pm 12.8$  mm de LC. Las hembras mostraron tallas desde 47.25 a 106.75 mm de LC, con un promedio de  $76.7 \pm 13.2$  mm de LC, y los machos mostraron de tallas de 55.27 a 105.7 mm de LC, con un promedio de  $77.4 \pm 12.4$  mm de LC. No se estimaron diferencias estadísticas significativas entre la longitud de conchas de hembras y machos (U de Mann Whitney = 2 541.500;  $P = 0.795$ ).

Se determinaron cinco estadios de desarrollo gonadal para ambos sexos; I) gametogénesis, II) maduro, III) desove/expulsión, IV) post-desove/post-expulsión y V) reposo (Fig. 3).

**I. Gametogénesis:** Comprende el crecimiento y desarrollo celular. Formación de folículos pequeños e irregulares. Proliferación de gametogonias (ovogonias y espermatogonias) en mayor proporción. Formación de gametocitos (ovocitos primarios y secundarios en hembras, espermatozoides y espermatocitos en machos). Pocos gametos maduros (ovocitos vitelogénicos en hembras y espermatozoides en machos) (Fig. 3A, Fig. 3B). En hembras este estadio se presentó de diciembre 2016 a marzo, en julio, octubre y noviembre 2017. En machos se observó en febrero (Fig. 4A, Fig. 4B).

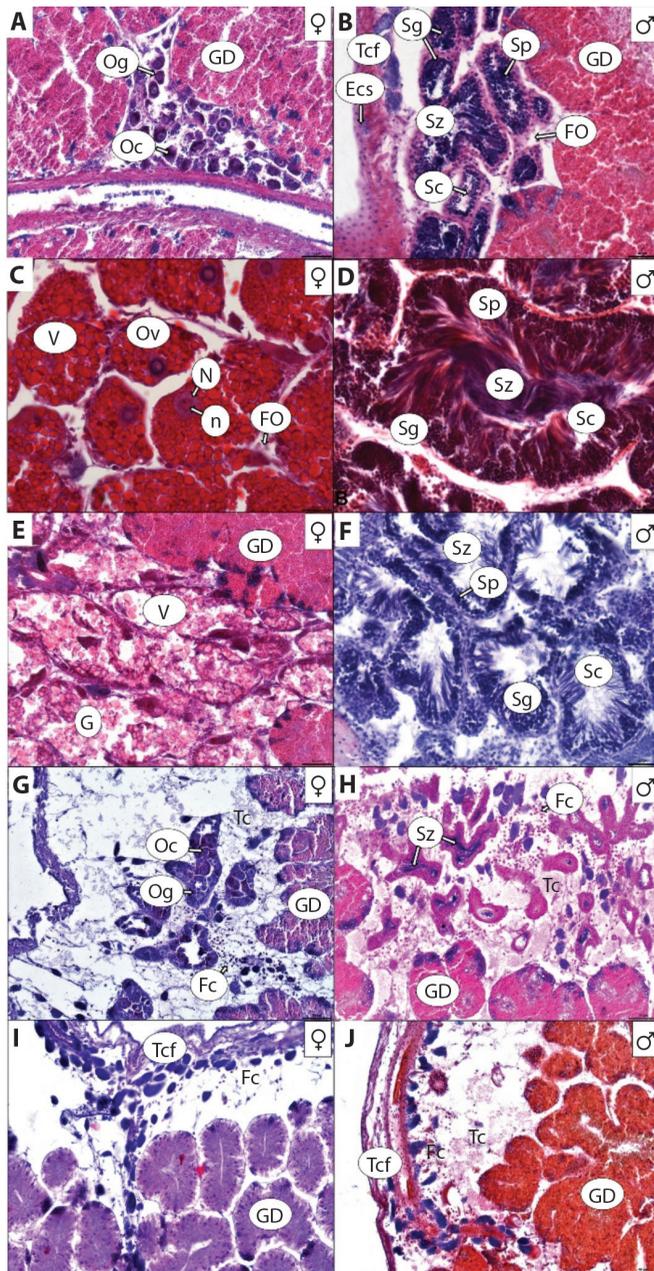
**II. Maduro:** Gónada alcanza su talla máxima y los organismos están listos para llevar a cabo la reproducción. Folículos de mayor diámetro, completos, llenos de gametos y en machos hay presencia de vasos deferentes. Dominancia en proporción de gametos maduros. Menor proporción de gametocitos. Pocos o nulas gametogonias. Lumen del saco gonadal y folículos están completamente llenos (Fig. 3C, Fig. 3D). Las hembras maduras se registraron durante diciembre 2016, enero, marzo, mayo y junio. Los machos en marzo, junio y julio (Fig. 4A, Fig. 4B). Los individuos estudiados



Fotografías: Alma Castrejón

**Fig. 2.** Estadios de la gónada (G) de *Hexaplex princeps* macroscópicamente visibles. **A.** Gametogénesis, **B.** Madurez, **C.** Desove/expulsión y **D.** Reposo.

**Fig. 2.** Macroscopically visible stages of the gonad (G) of *Hexaplex princeps*. **A.** Gametogenesis, **B.** Maturity, **C.** Spawning/expulsion and **D.** Resting.



**Fig. 3.** Estadios de desarrollo gonádico de *Hexaplex princeps*: **A.** y **B.** Gametogénesis, **C.** y **D.** Maduración, **E.** y **F.** Desove/expulsión, **G.** y **H.** Post-desove/ post-expulsión e **I.** y **J.** Reposo. Glándula digestiva (GD), Gónada (G), Ovogonias (Og), Ovocitos primarios o secundarios (Oc), Tejido conectivo fibroso (Tcf), Tejido conectivo (Tc), Epitelio cúbico simple (Ecs), Folículos (FO), Espermatogonias (Sg), Espermatocitos (Sc), Espermatidas (Sp), Espermatozoides (Sz), Ovocitos vitelogenicos (Ov), Vitelo (V), Nucleo (N), Nucleolo (n) y Fagocitos (Fc).

**Fig. 3.** *Hexaplex princeps* gonadal development stages: **A.** and **B.** Gametogenesis, **C.** and **D.** Maturation, **E.** and **F.** Spawning/expulsion, **G.** and **H.** Post-spawning/ post-expulsion and **I.** and **J.** Rest. Digestive Gland (GD), Gonad (G), Oogonia (Og), Primary or Secondary Oocytes (Oc), Fibrous Connective Tissue (Tcf), Connective Tissue (Tc), Simple Cubic Epithelium (Ecs), Follicles (FO), Spermatogonia (Sg), Spermatocytes (Sc), Spermatids (Sp), Spermatozoa (Sz), Vitelogenic oocytes (Ov), Yolk (V), Nucleus (N), Nucleolus (n) and Phagocytes (Fc).



TABLA 1  
Proporción sexual de *Hexaplex princeps* calculados para la zona de Acapulco, Guerrero, México

TABLE 1  
Sex ratio of *Hexaplex princeps* calculated for Acapulco, Guerrero, Mexico

Comparación	Hembras	Machos	Probabilidad	Proporción (H:M)
Octubre 2016	5	5	1.000	1:0
Noviembre	5	5	1.000	1:0
Diciembre	5	5	1.000	1:0
Enero 2017	9	3	0.083	3:0
Febrero	5	5	1.000	1:0
Marzo	5	5	1.000	1:0
Abril	7	3	0.206	2:3
Mayo	5	1	0.102	5:1
Junio	5	3	0.480	1:7
Julio	5	2	0.257	2:5
Agosto	5	5	1.000	1:0
Septiembre	3	7	0.206	0:4
Octubre	7	6	0.782	1:2
Noviembre	4	7	0.366	0:6
Diciembre	5	3	0.480	1:7
Total	80	65	0.280	1:2

presentaron una asincronía en cuanto a la madurez entre hembras y machos.

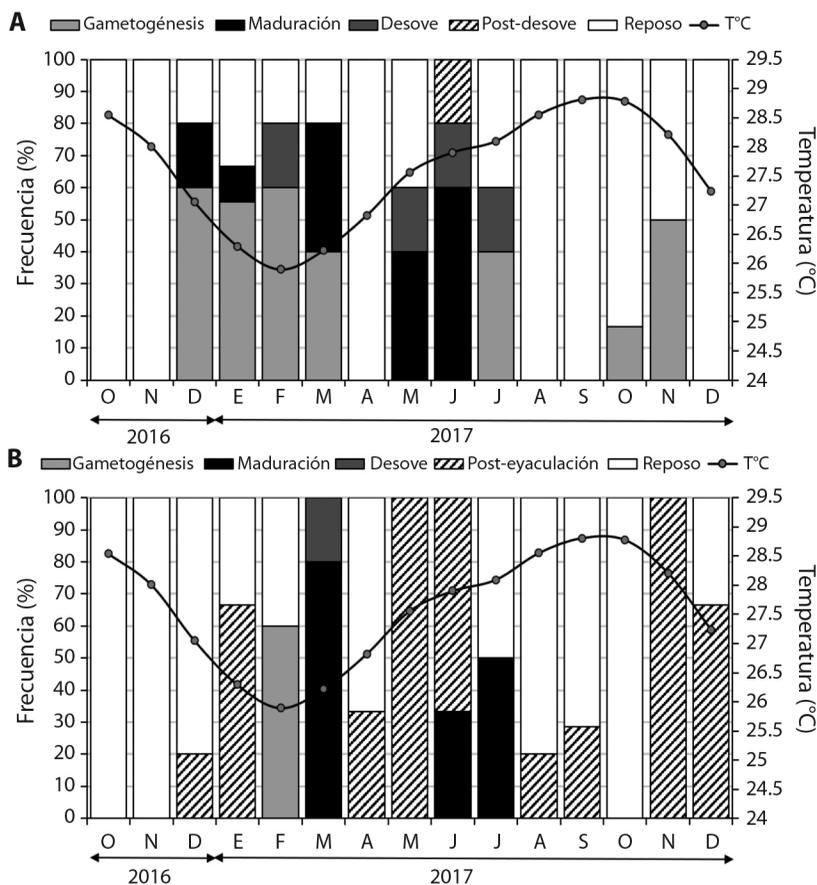
**III. Desove o expulsión:** Disminución de la gónada por liberación de gametos. Folículos completos o rotos, con espacio en el lumen debido a la liberación de ovocitos vitelogénicos y espermatozoides. Restos de ovocitos vitelogénicos, vitelo en mayor proporción en hembras. En menor proporción, los folículos contienen pocas gametogonias y gametocitos (Fig. 3E, Fig. 3F). En hembras este estadio ocurrió en febrero y de mayo a julio. En machos se registró en marzo (Fig. 4A, Fig. 4B).

**IV. Post-desove o Post-expulsión:** Gónada reduce su tamaño por la presencia de fagocitos. Se observan restos de tejido reticular y hay mayor presencia de tejido conectivo. La glándula digestiva comienza a recuperar espacio. Quedan restos de algunas ovogonias y ovocitos en hembras; espermatozonias, espermátidas y espermatozoides en machos (Fig. 3G, Fig. 3H).

En hembras se observó en junio. En machos de enero, abril a junio, agosto, septiembre, noviembre y diciembre (Fig. 4A, Fig. 4B).

**V. Reposo:** Saco gonadal reducido y la glándula digestiva recupera su lugar. Baja actividad gonadal después de la liberación de gametos (inactivo o en reposo), la disminución de su actividad reproductiva permite la acumulación de nutrientes que son utilizados posteriormente en la producción de gametos. La presencia de gametos es casi nula o pocos. Fagocitos y amebocitos pocos o nulos (Fig. 3I, Fig. 3J). En hembras este estadio se presentó durante todo el periodo de estudio. En machos, se presentó en casi todos los meses, excepto en marzo, mayo, junio y noviembre de 2017 (Fig. 4A, Fig. 4B).

La temperatura en la zona de Acapulco mostró un rango promedio de 26 a 29 °C, el inicio de la actividad reproductiva (maduración, desove/expulsión) ocurrió cuando se registró un descenso de la temperatura durante



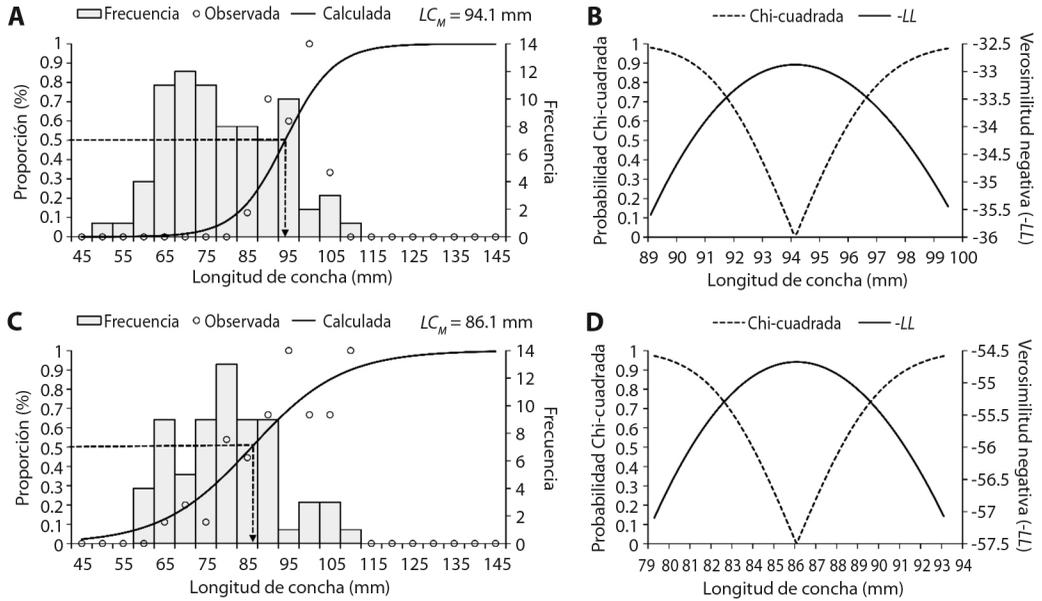
**Fig. 4.** Frecuencia mensual de los estadios de desarrollo gonádico y variación mensual de la temperatura **A.** Hembras y **B.** Machos de *Hexaplex princeps* en Acapulco, Guerrero, México.

**Fig. 4.** Monthly frequency of gonadal development stages and monthly temperature variation **A.** Females and **B.** Males of *Hexaplex princeps* in Acapulco, Guerrero, Mexico.

diciembre (27 °C) y este continuó hasta julio, observándose que el periodo reproductivo ocurrió entre temperaturas de 26 a 28 °C (Fig. 4).

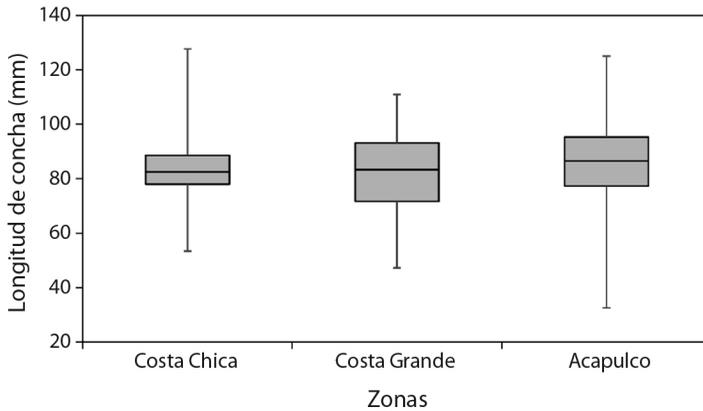
De las 79 hembras, 15 estaban maduras las cuales presentaron rangos de longitudes entre 89.9 a 98.7 mm de  $LC$ , obteniéndose una  $LC_M = 94.1$  mm (Fig. 5A), los perfiles de verosimilitud indicaron que pueden madurar entre 89.9 y 98.7 mm de  $LC$  (Fig. 5B). De los 66 machos, 26 estuvieron maduros y mostraron rangos de longitudes de 60.83 a 105.7 mm de  $LC$ , se obtuvo una  $LC_M = 86.1$  mm de  $LC$  (Fig. 5C), los perfiles de verosimilitud indicaron que pueden madurar entre 80.1 y 92.3 mm de  $LC$  (Fig. 5D).

**Aspectos pesqueros:** Para el análisis de longitud de captura ( $LC_C$ ), se utilizaron un total de 1 937 datos; 211 organismos fueron de Costa Chica con longitud de 53.37 a 127.63 mm de  $LC$ , con promedio de  $83.6 \pm 8.9$  mm  $LC$ . De Costa Grande fueron 235 organismos con longitudes de 47.25 a 110.9 mm de  $LC$ , promedio de  $82.7 \pm 14.4$  mm de  $LC$ . Para Acapulco, se utilizaron las biometrías de 1 491 organismos con longitudes de 32.6 a 125 mm de  $LC$ , con un promedio de  $86.4 \pm 12.9$  mm de  $LC$  (Fig. 6). Las comparaciones de  $LC$  entre las zonas, de acuerdo con la prueba de Kolmogorov-Smirnov fueron significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ).



**Fig. 5.** Talla de maduración ( $LC_M$ ) y perfiles de verosimilitud (-LL), **A.** y **B.** Hembras y **C.** y **D.** Machos de *Hexaplex princeps* en Acapulco, Guerrero, México.

**Fig. 5.** Size at maturity and likelihood profiles (-LL), **A.** and **B.** Females, and **C.** and **D.** Males of *Hexaplex princeps* in Acapulco, Guerrero, Mexico.

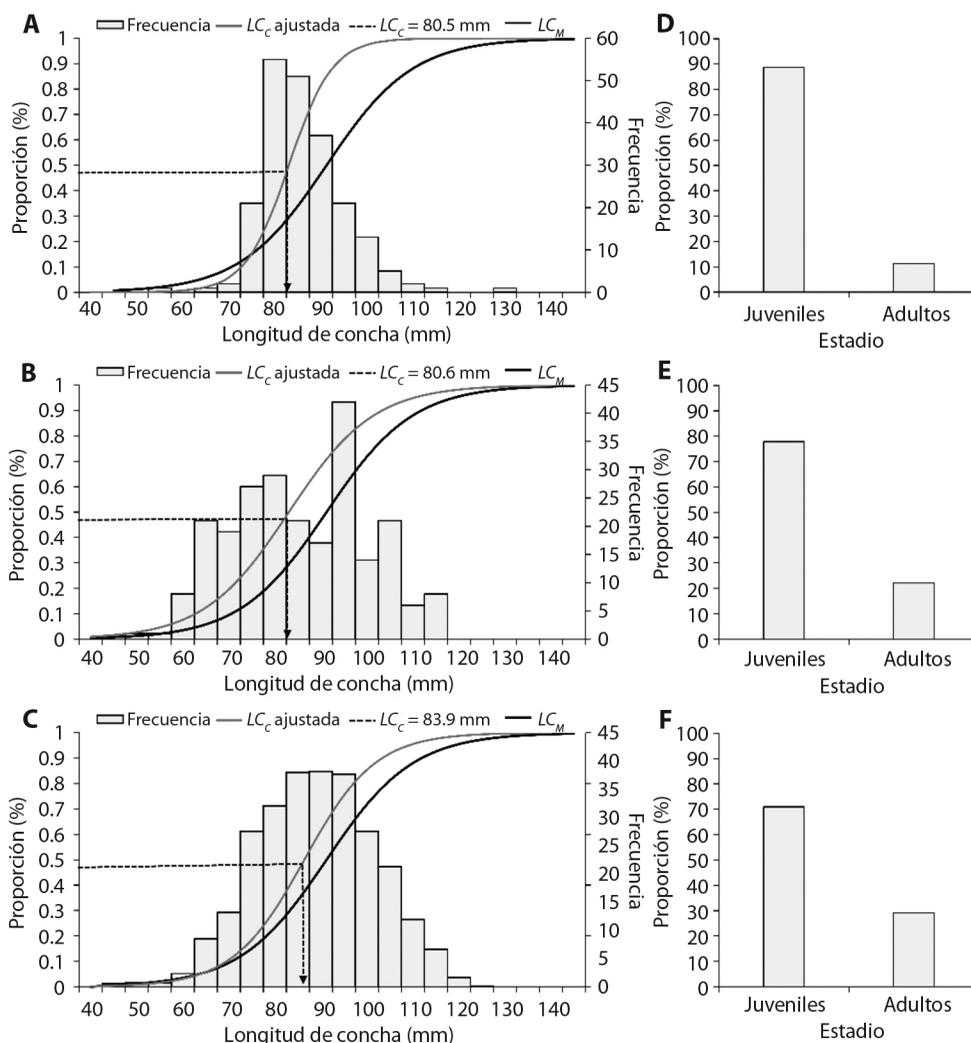


**Fig. 6.** Rango de tallas de los *Hexaplex princeps* capturados en tres zonas del estado de Guerrero, México.

**Fig. 6.** Size range of *Hexaplex princeps* captured in three areas of the state of Guerrero, Mexico.

El análisis de  $LC_C$ , mostró en Costa Chica una  $LC_C = 80.5$  mm, en Costa Grande una  $LC_C = 80.6$  mm y Acapulco una  $LC_C = 83.9$  mm (Fig. 7A, Fig. 7B y Fig. 7C). Se observó que en las tres zonas la  $LC_C$  estuvo por debajo de la  $LC_M$  (Fig. 7).

En las capturas de Costa Chica se observó un 11.4 % de organismos adultos y un 88.6 % juveniles (Fig. 7D), en Costa Grande el 22.1 % fueron adultos y el 77.9 % juveniles (Fig. 7E) y en Acapulco el 29 % adultos y el 71.1 % juveniles (Fig. 7F).



**Fig. 7.** Talla de captura estimada y comparación con la talla de madurez para *Hexaplex princeps*. Proporción de organismos juveniles y adultos capturados en tres zonas del estado de Guerrero, México, **A.** y **D.** Costa Chica, **B.** y **E.** Costa Grande y **C.** y **F.** Acapulco.

**Fig. 7.** Estimated capture size and comparison with the size at maturity for *Hexaplex princeps*. Proportion of juvenile and adult organisms captured in three areas of the state of Guerrero, Mexico, **A.** and **D.** Costa Chica, **B.** and **E.** Costa Grande and **C.** and **F.** Acapulco.

## DISCUSIÓN

La proporción de sexos (1:1) observada en *H. princeps* en este estudio, es similar a lo observado por Saito-Quezada et al. (2018) en Oaxaca México. Un comportamiento similar, en proporción sexual, fue observado para otras especies del mismo género como *H. trunculus* y *H. nigritus* (Cudney-Bueno et al., 2008;

Tirado et al., 2002; Vasconcelos et al., 2008). En cuanto a la comparación de las tallas tal como el largo de machos y hembras, utilizados para el estudio histológico, no se encontraron diferencias significativas, sin embargo, Tirado et al. (2002), en *H. trunculus*, observaron que los machos predominaron en individuos pequeños y las hembras en tallas de mayor tamaño.



El análisis histológico de los organismos de *H. princeps* en Acapulco, permitió caracterizar cinco estadios de desarrollo gonádico para hembras y machos. Saito-Quezada et al. (2018) determinaron seis etapas para hembras y cinco para machos en Oaxaca, México. Sin embargo, la diferencia de los estadios del ciclo gonádico se debe a que el presente estudio se basó en la caracterización descrita por Avila-Poveda & Baqueiro-Cárdenas (2009); Torres-García et al. (2016), adaptada para *H. princeps* de acuerdo a las observaciones de los cortes histológicos.

El periodo de mayor actividad reproductiva se presentó de diciembre a julio con una temperatura de 26 a 28 °C para la localidad de Acapulco, estos resultados coinciden con lo reportado por Saito-Quezada et al. (2018) para la zona de Puerto Ángel Oaxaca, la reproducción se dio en enero, abril y mayo, con temperaturas de 28 °C, sin embargo, también se observaron otros dos picos de actividad reproductiva durante octubre y noviembre. Por otro lado, Baqueiro-Cárdenas et al. (1983), observaron para *Hexaplex erythrostomus*, en Bahía Concepción, Baja California Sur, que su evento reproductivo se da de mayo a julio durante los meses más cálidos, donde la temperatura máxima del mar es de 28 °C. Para *H. nigrinus* en la parte norte del Golfo de California, México, el periodo reproductivo se presenta en primavera y verano, con picos reproductivos en junio y julio, observando que las agregaciones reproductivas se dan entre los 22 a 31 °C (Cudney-Bueno et al., 2008). Para *H. trunculus* en Ria Formosa, Portugal, la temporada reproductiva se presenta de febrero a junio, con un pico de mayor actividad reproductiva en mayo y junio (Vasconcelos et al., 2004). Vasconcelos et al. (2008) definieron el periodo de desove en mayo y junio para esta misma localidad, cuando las temperaturas oscilaban entre los 26 y 29 °C. Es evidente que el periodo de mayor actividad reproductiva de las especies del género *Hexaplex* es estacional (primavera y verano), respondiendo a temperaturas entre 22 a 31 °C.

La talla media de madurez ( $LC_M$ ) de *H. princeps*, es el primer reporte para toda su área de distribución. El presente estudio muestra

que la  $LC_M$  tiende a ser mayor en hembras que en machos, esto ha sido observado para otras especies de la familia Muricidae, como *H. trunculus* (Elhasni et al., 2010; Gharsallah et al., 2010) y *B. brandaris* en costas de Túnez (Elhasni et al., 2013), así como, para otras especies de gasterópodos tales como: *Buccinum cyaenum*, *Strombus gigas*, *B. isaotakii*, *Odontocymbiola magellanica* y *Adelomelon brasiliana* (Bigatti et al., 2008; Cledón et al., 2008; Chiquillo-Espítia et al., 1997; Ilano et al., 2003; Miloslavich & Dufresne, 1994). La diferencia de  $LC_M$  entre machos y hembras puede deberse a un crecimiento diferencial entre los sexos (Power & Keegan, 2001). En general, los machos maduran a una talla menor porque su sistema genital es menos complejo (Giese & Pearse, 1977), su inversión reproductiva es energéticamente menos costosa (Brokordt et al., 2003), o porque las hembras ocupan maximizar su espacio disponible para los órganos y material reproductivo (Son & Hughes, 2000).

La talla de captura ( $LC_C$ ), estimada en el presente estudio, para las tres zonas de Guerrero, se encuentra por debajo de la  $LC_M$  y se considera que, la proporción de organismos juveniles capturados es alta, lo cual, es evidencia de la extracción de organismos que no han alcanzado su madurez sexual y esto a su vez es un indicador, de que el esfuerzo de pesca es intenso. El desconocimiento del esfuerzo de pesca sobre *H. princeps* en Guerrero, vuelve más complejo el conocer el estatus de su abundancia y, además, existe evidencia del efecto del intenso esfuerzo de pesca sobre especies de la familia Muricidae, los cuales han disminuido sus abundancias, como el caso de *H. trunculus* y *B. brandaris* (Marques & Oliveira, 1995).

Los especímenes analizados de *H. princeps* se obtuvieron de pescadores, que los capturaron por buceo libre, por lo que, se suponía una mayor selectividad hacia tallas grandes, sin embargo, los resultados demostraron lo contrario. La proporción de organismos capturados por encima de la longitud mínima de captura ( $LC_M$ ) es baja. Este hecho, también fue reportado para otros murícidos, como *H. trunculus* y *B. brandaris* por Vasconcelos et

al. (2008) y Elhasni et al. (2017), quienes justificaron la presencia de una proporción de organismos por debajo de la talla de madurez, como un efecto de la poca selectividad del arte de pesca, utilizado en ambos estudios (trampa y red de arrastre). Sin embargo, se considera que la selectividad de capturas de organismos comerciales en Guerrero, está en la decisión y manejo de los pescadores. También es probable que, el porcentaje capturado por encima de la longitud mínima de captura, se deba a un proceso migratorio ontogénico entre las áreas de menor y mayor profundidad, al respecto, Elhasni et al. (2017), mencionan que este fenómeno, se puede deber a una segregación migratoria, donde los organismos juveniles, se concentran en zonas menos profundas y los adultos en zonas de mayor profundidad. En Guerrero, los pescadores ribereños, tienen poca autonomía y capacidad de explorar mayores profundidades, lo cual, impactaría sobre el porcentaje de juveniles capturados.

Con los resultados obtenidos sobre el periodo reproductivo, la talla media de madurez de las hembras y la evidencia de una alta proporción de organismos capturados por debajo de esta, se podrían proponer dos medidas de manejo: 1) una veda entre diciembre y julio durante el periodo de mayor actividad reproductiva y 2) que la talla mínima de captura sea de  $\geq LC_M$  (94.1 mm) que corresponde a las hembras, dado que la  $LC_M$  de la población y de los machos se estimaron con valores inferiores. Con base en esta información, se propondría otra medida de manejo: 3) estimar una cuota de captura anual (Diario Oficial de la Federación, 2018), la cual debe de ser alrededor del 40 % de los organismos accesibles a la pesca (PANGAS, 2012). Con estas acciones, se coadyuva a la conservación y manejo sustentable de este recurso, dado que, permitiría que los organismos juveniles, se reproduzcan al menos en una ocasión y que no sean extraídos de su hábitat, en el tiempo en que la mayoría de la población esté en actividad reproductiva. Debido a la problemática observada, sobre el desconocimiento biológico básico de *H. princeps* y las tallas capturadas en las costas de Guerrero, el presente trabajo,

muestra algunos indicadores básicos para su manejo sustentable. Sin embargo, es importante generar estimaciones de abundancia para determinar el estado actual de la población, para que, en un futuro, este tipo de información pueda ser plasmada en la carta nacional pesquera y para generar un plan de manejo pesquero.

**Declaración de ética:** los autores declaran que todos están de acuerdo con esta publicación y que han hecho aportes que justifican su autoría; que no hay conflicto de interés de ningún tipo; y que han cumplido con todos los requisitos y procedimientos éticos y legales pertinentes. Todas las fuentes de financiamiento se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

## AGRADECIMIENTOS

Castrejón-Ríos Alma Rubí agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para cursar su maestría. Este trabajo es parte del proyecto Investigadoras e investigadores por México-CONACYT No. 402 “Diversidad, distribución y ecología reproductiva de moluscos en el Pacífico Transicional Mexicano”. A la comunidad de pescadores artesanales del puerto de Acapulco, Costa Chica y Costa Grande Guerrero, México.

## RESUMEN

**Introducción:** El caracol *Hexaplex princeps* es el gasterópodo más importante en la pesquería de Guerrero, pero su captura no está regulada legalmente por falta de suficientes estudios sobre su reproducción, crecimiento y otros aspectos de la pesca.

**Objetivo:** Evaluar los datos de pesca de *H. princeps* en Guerrero.

**Métodos:** De octubre 2016 a diciembre 2017, analizamos muestras histológicas de las gónadas de 6 a 13 individuos por mes. También recolectamos datos sobre organismos pre-reproductivos capturados en Costa Chica (2013 y 2014), Costa Grande (2017) y Acapulco (2019 y 2020).



**Resultados:** Ambos sexos tienen cinco etapas de desarrollo gonadal; la mayor actividad reproductiva fue de diciembre a julio, relacionada con las temperaturas superficiales del mar, que se encuentran entre 26 y 28 °C. El  $LC_M$  en hembras fue de 94.1 mm (machos: 86.1 mm). Hubo un alto porcentaje de organismos juveniles en las capturas (88.6 %).

**Conclusiones:** Para que estos caracoles se reproduzcan al menos una vez, se recomienda una veda de diciembre a julio y que la talla mínima de captura comercial se fije en 94.1 mm.

**Palabras clave:** histología; caracol chino, pesca ribereña; actividad reproductiva; población de moluscos, manejo pesquero.

## REFERENCIAS

- Aguilar, M., Coutiño, B., & Salinas, P. (1996). *Manual general de técnicas histológicas y citoquímicas*. Las prensas de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Avila-Poveda, O. H., & Baqueiro-Cárdenas, E. (2009). Reproductive cycle of *Strombus gigas* Lineaeus 1758 (Caenogastropoda: Strombidae) from Archipelago of San Andres, Providencia and Santa Catalina, Colombia. *Invertebrate Reproduction and Development*, 53(1), 1–12. <https://doi.org/10.1080/07924259.2009.9652284>
- Baqueiro-Cárdenas, E., Massó-Rojas, J. A., & Vélez-Barajas, A. (1983). Crecimiento y reproducción de una población de caracol chino *Hexaplex erythrostomus* (Swainson, 1831) de Bahía Concepción, B.C.S. *Ciencia Pesquera*, 4, 19–31.
- Bigatti, G., Marzinelli, E. M., & Penchaszadeh, P. E. (2008). Seasonal reproduction and sexual maturity in *Odontocymbiola magellanica* (Neogastropoda, Volutidae). *Invertebrate Biology*, 127(3), 314–326. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7410.2008.00139.x>
- Brokordt, K. B., Guderley, H. E., Guay, M., Gaymer, C. F., & Himmelman, J. H. (2003). Sex differences in reproductive investment: maternal care reduces escapes capacity in the whelk *Buccinum undatum*. *Marine Ecology Progress Series*, 291, 161–180. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(03\)00119-9](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(03)00119-9)
- Brouwer, S. L. & Griffiths, M. H. (2005). Reproductive biology of Carpenter Seabream (*Argyrozona argyrozona*) (Pisces: Sparidae) in a marine protected area. *Fishery Bulletin*, 103(2), 258–269.
- Castrejón-Ríos, A. R., Flores-Garza, R., Flores-Rodríguez, P., & Torreblanca-Ramírez, C. (2015). Diversidad, abundancia y distribución de la Familia Muricidae (Mollusca: Gastropoda) en el intermareal rocoso de Acapulco, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(5), 25–34.
- Castro-Mondragon, H., Flores-Garza, R., Rosas-Acevedo, J. L., Flores-Rodríguez, P., García-Ibáñez, S., & Valdés-González, A. (2015). Escenario biológico pesquero y socio-económico de la pesca ribereña de moluscos en Acapulco. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(7), 6–23.
- Castro-Mondragón, H., Flores-Garza, R., Valdés-González, A., Flores-Rodríguez, P., García-Ibáñez, S., & Rosas-Acevedo, J. L. (2016). Diversidad, especies de mayor importancia y composición de tallas de los moluscos en la pesca ribereña en Acapulco, Guerrero, México. *Acta Universitaria*, 26(6), 24–34. <https://doi.org/10.15174/au.2016.1025>
- Cerros-Cornelio, J. C., Flores-Garza, R., Landa-Jaime, V., García-Ibáñez, S., Rosas-Guerrero, V., Flores-Rodríguez, P., & Valdés-González, A. (2021). Species composition and income from coastal fishing mollusks on the Costa Grande of Guerrero Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 8, e1054. <https://doi.org/10.15741/revbio.08.e1054>
- Chiquillo-Espítia, E., Gallo-Nieto, J., & Ospina-Arango, J. F. (1997). Aspectos biológicos del caracol pala, *Strombus gigas* Linnaeus, 1758 (Mollusca: Gastropoda: Strombidae), en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (Caribe colombiano). *Boletín Científico INPA*, 5, 159–179.
- Cledón, M., Arntz, W., & Penchaszadeh, P. E. (2008). Size and age at sexual maturity in *Adelomelon brasiliana* (Neogastropoda: Volutidae) off Argentina. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 88, 169–173. <https://doi.org/10.15741/revbio.08.e1054>
- Cudney-Bueno, R., Prescott, R., & Hinojosa-Huerta, O. (2008). The black murex snail, *Hexaplex nigritus* (Mollusca, Muricidae), in the Gulf of California, Mexico. I. Reproductive ecology and breeding aggregations. *Bulletin of Marine Science*, 83(2), 299–313.
- Diario Oficial de la Federación. (2018). Acuerdo por el que se da a conocer la actualización de la Carta Nacional pesquera. *Diario Oficial de la Federación*. [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5525712&fecha=11/06/2018](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5525712&fecha=11/06/2018)
- Elhasni, K., Ghorbel, M., Vasconcelos, P., & Jarboui, O. (2010). Reproductive cycle and size at first sexual maturity of *Hexaplex trunculus* (Gastropoda: Muricidae) in the Gulf of Gabès (southern Tunisia). *Invertebrate Reproduction and Development*, 54(4), 213–225. <https://doi.org/10.1080/07924259.2010.9652335>
- Elhasni, K., Vasconcelos, P., Ghorbel, M., & Jarboui, O. (2013). Reproductive cycle of *Bolinus brandaris* (Gastropoda: Muricidae) in the Gulf of Gabès (southern Tunisia). *Mediterranean Marine Science*, 14(1), 24–35. <https://doi.org/10.12681/mms.325>

- Elhasni, K., Vasconcelos, P., Dhieb, K., El Lakhrach, H., Ghorbel, M., & Jarboui, O. (2017). Distribution, abundance and population structure of *Hexaplex trunculus* and *Bolinus brandaris* (Gastropoda: Muricidae) in offshore areas of the Gulf of Gabès, southern Tunisia. *African Journal of Marine Science*, 39(1), 69–82. <https://doi.org/10.2989/1814232X.2017.1303402>
- Flores-Garza, R., García-Ibáñez, S., Flores-Rodríguez, P., Torreblanca-Ramírez, C., Galeana-Rebolledo, L., Valdés-González, A., Suástegui-Zárate, A., & Violante-González, J. (2012). Commercially Important Marine Mollusks for Human Consumption in Acapulco, México. *Natural Resources*, 3(1), 11–17. <http://dx.doi.org/10.4236/nr.2012.31003>
- Galeana-Rebolledo, L., Flores-Garza, R., Violante-González, J., Flores-Rodríguez, P., García-Ibáñez, S., Landa-Jaime, V., & Valdés-González, A. (2018). Socioeconomic Aspects for Coastal Mollusk Commercial Fishing in Costa Chica, Guerrero, México. *Natural Resources*, 9, 229–241. <https://doi.org/10.4236/nr.2018.96015>
- Gharsallah, I. H., Vasconcelos, P., Zamouri-Langar, N., & Missaoui, H. (2010). Reproductive cycle and biochemical composition of *Hexaplex trunculus* (Gastropoda: Muricidae) from Bizerte lagoon, northern Tunisia. *Aquatic Biology*, 10, 155–166. <https://doi.org/10.3354/ab00275>
- Giese, A. C., & Pearse, J. S. (1977). *Reproduction of Marine Invertebrates. Vol. IV, Molluscs: Gastropods and Cephalopods*. Academic Press.
- Gorrostieta-Hurtado, E., & Trujillo-Toledo, J. L. (2012). Invertebrados marinos ribereños de importancia comercial en la costa michoacana. *El Bohío Boletín*, 2(4), 17–29.
- Gotelli, N. J., & Ellison, A. M. (2004). *A Primer of Ecological Statistics*. Sinauer Associates.
- Gutiérrez-Zavala, R. M., & Cabrera-Mancilla, E. (2012). *La pesca ribereña de Guerrero*. Instituto Nacional de Pesca.
- Haddon, M. (2011). *Modelling and quantitative methods in fisheries* (2<sup>nd</sup> edition). CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Holguín-Quiñones, O. E., Wright-López, H., & Felix-Pico, E. F. (2000). Moluscos intermareales y de fondos someros de la Bahía de Loreto, B. C. S., México. *Oceánidas*, 15(2), 91–115.
- Ilano, A. S., Fujinaga, K., & Nakao, S. (2003). Reproductive cycle and size at sexual maturity of the commercial whelk *Buccinum isaotakii* in Funka Bay, Hokkaido, Japan. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 83, 1287–1294. <https://doi.org/10.1017/S0025315403008683>
- Keen, A. M. (1971). *Sea shells of tropical West America*. Stanford University Press.
- Landa-Jaime, V., Michel-Morfin, E., Arciniega-Flores, J., Castillo-Vargasmachuca, S., & Saucedo-Lozano, M. (2013). Moluscos asociados al arrecife coralino de Tenacatita, Jalisco, en el Pacífico central mexicano. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84, 1121–1136. <https://doi.org/10.7550/rmb.32994>
- Marques, M. R., & Oliveira, J. S. (abril, 1995). *A pesca das “carteiras” na Ria Formosa*. [Comunicación oral] 8<sup>o</sup> Congresso do Algarve, Vilamoura, Portugal.
- Miloslavich, P., & Dufresne, L. (1994). Development and effect of female size on egg and juvenile production in the neogastropod *Buccinum cyaneum* from the Saguenay Fjord. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51(12), 2866–2872. <https://doi.org/10.1139/f94-285>
- Molina, L., Danulat, E., Oviedo, M., & González, J. A. (2004). *Guía de especies de interés pesquero en la Reserva Marina de Galápagos*. Fundación Charles Darwin, Agencia Española de Cooperación internacional, Dirección Parque Nacional Galápagos.
- PANGAS. (2012). *Caracol chino (Familia Muricidae): Ficha informativa de la Pesca Ribereña del Norte del Golfo de California*. Centro Intercultural de Estudios de Desiertos y Océanos, A.C.
- Power, A. J., & Keegan, B. F. (2001). Seasonal patterns in the reproductive activity of the red whelk *Neptunea antiqua* (Mollusca: Prosobranchia) in the Irish Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 81, 243–250. <https://doi.org/10.1017/S0025315401003708>
- Reynolds, R. W., Rayner, N. A., Smith, T. M., Stokes, D. C., & Wang, W. (2002). An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *Journal of Climate*, 16, 1609–1625. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<1609:AHSSAS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<1609:AHSSAS>2.0.CO;2)
- Saito-Quezada, V. M., Uría-Galicia, E., Gómez-Márquez, J. L., Villaseñor-Martínez, A. B., Jiménez-Badillo, M. De L., & Salgado-Ugarte, I. H. (2018). Reproductive cycle of *Hexaplex princeps* (Broderip, 1833) from one artisanal fishery at the southern coast of Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 46(1), 91–103. <http://dx.doi.org/10.3856/vol46-issue1-texto-completo-11>
- Son, M. H., & Hughes, R. N. (2000). Relationship between imposex and morphological variation of the shell in *Nucella lapillus* (Gastropoda: Thaididae). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 50, 599–606. <https://doi.org/10.1006/ecss.2000.0592>
- Tirado, C., Rodríguez De La Rúa, A., Bruzón, M. A., López, J. I., Salas, C., & Márquez, I. (2002). *La reproducción de bivalvos y gasterópodos de interés*



- pesquero en Andalucía*. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca.
- Torres-García, M. P., Palacios, E. S., & Corona, M. M. (2016). Ciclo reproductivo del caracol *Plicopurpura pansa* (Gould, 1853) de la Bahía de Huatulco, Oaxaca, México. *Amici Molluscarum*, 24(1-2), 7–15.
- Vasconcelos, P., Gaspar, M. B., Joaquim, S., Matias, D., & Castro, M. (2004). Spawning of *Hexaplex (Trunculariopsis) trunculus* (Gastropoda: Muricidae) in the laboratory: description of spawning behaviour, egg masses, embryonic development, hatchling and juvenile growth rates. *Invertebrate Reproduction and Development*, 46, 125–138. <https://doi.org/10.1080/07924259.2004.9652616>
- Vasconcelos, P., Carvalho, S., Castro, M., & Gaspar, M. B. (2008). The artisanal fishery for muricid gastropods (banded murex and purple dye murex) in the Ria Formosa lagoon (Algarve coast, southern Portugal). *Scientia Marina*, 72(2), 287–298. <https://doi:10.3989/scimar.2008.72n2287>
- Venzon, D. J., & Moolgavkar, S. H. (1988). A method for computing profile-likelihood-based confidence intervals. *Journal of the Royal Statistical Society (Applied Statistics)*, 37(1), 87–94. <https://doi.org/10.2307/2347496>
- Witman, J. D., Brandt, M., & Smith, F. (2010). Coupling between subtidal prey and consumers along a mesoscale upwelling gradient in the Galapagos Islands. *Ecological Monographs*, 18(1), 153–177. <https://doi.org/10.1890/08-1922.1>
- Zar, J. H. (2014). *Biostatistical analysis*. Pearson Education.