



**ASCIMAR**

ASOCIACIÓN DE CIENTÍFICOS DEL MAR



**HISTOMAR**

Laboratorio

---

## **INFORME FINAL**

“BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DEL PEZ BLANCO  
(*Caulolatilus princeps*) (JENYNS, 1840) EN EL  
ROSARIO, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO”

**"La conexión es nuestra fortaleza"**

## RESUMEN

A nivel mundial, México es el principal productor de pez blanco *Caulolatilus princeps*, pero la información biológica sobre esta especie es escasa, particularmente sobre aspectos de su reproducción. El objetivo de este estudio fue analizar la biología reproductiva del pez blanco de la zona costera de El Rosario, Baja California, México. Mensualmente, de mayo de 2019 a marzo de 2020, se recolectaron aproximadamente 30 especímenes de pez blanco provenientes de la captura comercial. Los organismos fueron medidos y pesados, y se extrajo la gónada para realizar un análisis histológico convencional. Se determinaron las características microscópicas del desarrollo gonádico, el ciclo reproductivo, la proporción de sexos, la talla de madurez sexual, así como la estructura de tallas, la relación longitud-peso y los índices morfofisiológicos. Se analizó un total de 317 especímenes, de los cuales el 47% fueron hembras y el 53% fueron machos, con una proporción de sexos general de 1H:1.1M. La distribución de tallas general estuvo compuesta por organismos entre 210 a 640 mm de longitud total y el peso total varió entre 290 y 3176 g. El tipo de crecimiento para *C. princeps* fue alométrico negativo ( $b = 2.39$ ;  $r^2 = 0.94$ ). *C. princeps* es una especie gonocórica que presenta un desarrollo gonadal de tipo asincrónico con desoves parciales. Tanto en hembras como en machos, se observaron cinco fases de desarrollo: inmadurez, desarrollo, capacidad de desove, regresión y regeneración. La temporada reproductiva se presenta de mayo a noviembre, con una intensidad máxima en junio (100% en ambos sexos) y julio (58.3% y 72.2% para hembras y machos, respectivamente). Los valores más altos del índice gonadosomático y del factor de condición coinciden con la temporada de desove. La talla de madurez sexual ( $L_{50\%}$ ) poblacional fue establecida a los 390.8 mm de longitud total. Los resultados descritos en el presente estudio aportan información básica sobre la biología reproductiva de *C. princeps* que puede contribuir en la elaboración de propuestas de manejo pesquero.

## 1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, México es el principal productor de pez blanco *Caulolatilus princeps* (Jenyns, 1840) (Gastélum-Nava *et al.*, 2016). Particularmente, en la zona costera de la Península de Baja California, *C. princeps* también conocido comúnmente como “pierna”, representa un importante recurso dentro de la pesca artesanal, el cual se captura durante todo el año (Elorduy-Garay *et al.*, 2005). Su producción pesquera ha ido en aumento, pasando de 829 t en el 2008 a 3,384 t en el 2017 (SAGARPA, 2017).

A pesar de la importancia de *C. princeps* como recurso pesquero, la información biológica sobre esta especie es escasa. Existen algunos estudios sobre sus hábitos alimentarios en la Bahía de La Paz, Golfo de California (Elorduy-Garay & Caraveo-Patiño, 1994); edad, crecimiento y mortalidad en el sur del Golfo de California (Elorduy-Garay *et al.*, 2005); patrones de movimiento y selección de hábitat en la costa sur de California (Bellquist *et al.*, 2008); estructura parasitaria en la costa Pacífica de Baja California (Rodríguez-Santiago & Rosales-Casián, 2011; Rodríguez-Santiago *et al.*, 2016); y aspectos taxonómicos en las Islas Galápagos (Lea & Feeney, 2016). Especialmente, los estudios sobre su reproducción son aún más escasos y con más de 20 años desde su publicación. En la Península de Baja California, solo está el trabajo de Elorduy-Garay & Ramírez-Luna (1994), en el cual se reporta que esta especie es un desovador parcial, con una temporada de desove prolongada en el Golfo de California, desde finales de otoño hasta principios de primavera. Además, *C. princeps* no cuenta con una temporada de veda o talla mínima de captura legal, siendo las únicas herramientas de manejo para este recurso el control de esfuerzo, a través del otorgamiento de permisos de pesca, y la regulación en el arte de pesca (DOF, 2018).

La evaluación de las pesquerías proporciona datos importantes para determinar futuras medidas para el manejo sustentable de los recursos pesqueros (Stauffer & Kocovsky, 2007). Sin embargo, las evaluaciones requieren información sobre la biología de las especies sujetas a explotación que, en conjunto, serán esenciales para la conservación y el manejo (Barzotto & Mateus, 2017). En este sentido, las investigaciones acerca de la biología reproductiva de especies de importancia

comercial son fundamentales debido a que aportan información valiosa para elaborar propuestas de manejo, tales como temporadas de veda y tallas mínimas de captura. Bajo este contexto, considerando que la información sobre la reproducción de *C. princeps* es escasa, aunado al incremento en la captura comercial en la última década y a la falta de medidas de manejo específicas para este recurso, el objetivo de este estudio es analizar la biología reproductiva del pez blanco *C. princeps* de la zona costera de El Rosario, Baja California, México, a través de la descripción histológica del desarrollo gametogénico, los análisis del ciclo reproductivo y de la temporada reproductiva, así como del cálculo de la talla de madurez.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. *Recolecta de muestras***

Mensualmente, de mayo de 2019 a marzo de 2020, se recolectaron aproximadamente 30 especímenes de pez blanco *Caulolatilus princeps* provenientes de la captura comercial en El Rosario, Baja California, México. Estas capturas se obtuvieron por medio de trampas de malla con alambre galvanizado cubierto de plástico, con dimensiones de 104 cm de largo, 78 cm de ancho y 47.5 cm de alto. Se realizaron de 5 a 10 lances por trampa (15 trampas); en cada lance, la trampa se dejó reposar en el sustrato durante 20 a 45 minutos y, posteriormente, se recogió manualmente o por medio del cabrestante impulsado por un motor de combustión interna. Los especímenes recolectados se transportaron en frío, dentro de una hielera plástica, a las instalaciones de la “Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera Ensenada S.R.L.” donde se llevó a cabo la toma de las variables biométricas. De cada individuo recolectado, se registró la longitud total con un ictiómetro y el peso total con una balanza electrónica. Posteriormente, cada pez se disecó para extraer la gónada y el hígado, a los cuales se les registró el peso. Una porción de la gónada, extraída de la parte media de uno de los lóbulos, se fijó en formalina al 10% preparada con agua de mar para llevar a cabo el proceso histológico.

## **2.2. Procesamiento histológico**

Las porciones de gónada fijadas se lavaron con agua corriente para retirar el exceso de formalina y, posteriormente, se procesaron con la técnica histológica convencional (Humason, 1979), que consiste en deshidratación del tejido por medio de una concentración creciente de alcoholes, aclaramiento con Citrisolv™, inmersión en parafina Paraplast® líquida e inclusión en bloques de parafina Paraplast®. De cada muestra incluida, se realizaron cortes de 4 µm de grosor y se colocaron en un portaobjetos para, posteriormente, llevar a cabo el proceso de tinción con hematoxilina-eosina y realizar el montaje en laminillas permanentes.

## **2.3. Estructura de tallas, relación longitud-peso e índices morfofisiológicos**

A partir de los datos de longitud total y peso total, se realizaron histogramas de frecuencia para analizar la estructura de tallas de *C. princeps*. También, se estimó la relación peso-longitud por medio de un modelo potencial ( $PT = \alpha LT^b$ ) (Le Cren, 1951), con el ajuste de los parámetros por máxima verosimilitud a partir de la transformación logarítmica:

$$\ln(PT) = \ln(a) + b \ln(LT)$$

donde  $a$  es el intercepto y  $b$  es la pendiente o coeficiente de alometría. Cuando  $b = 3$ , el crecimiento es isométrico, lo cual indica que el organismo aumenta proporcionalmente en peso y longitud. Cuando el valor de  $b \neq 3$  el crecimiento es alométrico: positivo si  $b > 3$ , lo cual indica un crecimiento en mayor grado en peso que en talla; y negativo si  $b < 3$ , donde el crecimiento es mayor en talla que en peso (Froese, 1998). Como indicadores cuantitativos de la reproducción y de la condición de los peces, se calcularon los índices gonadosomático (IGS) y hepatosomático (IHS) de acuerdo con Lloret & Rätz (2000):

$$IGS = 100 \left( \frac{PG}{PT} \right)$$

$$IHS = 100 \left( \frac{PH}{PT} \right)$$

donde: PG= peso total de la gónada (g), PH= peso total del hígado (g) y PT= peso total del organismo (g).

Por su parte, el factor de condición de Fulton ( $K$ ) se calculó de acuerdo con Brown-Peterson *et al.* (2017):

$$K = 100,000 \left( \frac{PT}{LT^3} \right)$$

donde: PT= peso total del organismo (g) y LT= longitud total (mm). El 3 es una constante que supone un crecimiento isométrico, por lo tanto, un mayor peso para una longitud dada corresponde a una mejor condición.

#### **2.4. Proporción de sexos**

La proporción de sexos total y mensual fue calculada dividiendo el número total de hembras entre el número total de machos obtenidos en cada uno de los meses del periodo de estudio. Se utilizó el estadístico de prueba de Chi-cuadrada ( $X^2$ ), con una corrección de Yates, para evaluar posibles diferencias en la proporción de sexos teórica de 1:1 (Zar, 2010).

#### **2.5. Fases de desarrollo gonádico, ciclo reproductivo y temporada reproductiva**

Las laminillas histológicas se observaron al microscopio óptico para identificar y asignar las fases de desarrollo gonádico, siguiendo las descripciones propuestas por Brown-Peterson *et al.* (2011): inmadurez, desarrollo, capacidad de desove, regresión y regeneración. Para caracterizar el ciclo reproductivo, se graficaron las frecuencias relativas (%) mensuales de cada una de las fases asignadas. Con base en este análisis, se obtuvo la temporada reproductiva del pez blanco *C. princeps* en la zona costera de El Rosario, Baja California, tomando en cuenta los meses en los cuales se observaron organismos en la fase descrita como capacidad de desove (Brown-Peterson *et al.*, 2011).

#### **2.6. Talla de madurez sexual ( $L_{50}$ )**

La talla de madurez sexual ( $L_{50\%}$ ), a la que el 50% de los organismos están en madurez gonádica, se calculó a partir de la frecuencia relativa y frecuencia relativa acumulada de organismos en fase de desarrollo, capacidad de desove, regresión y

regeneración. Posteriormente, los valores obtenidos fueron ajustados a un modelo logístico o sigmoideo de Lysak (1980):

$$P_i = \frac{1}{1 + \exp^{-\beta_1(LT_i - L_{50})}}$$

donde  $LT_i$  es la longitud total del pez,  $\beta_1$  es una tasa de cambio y  $L_{50}$  es la longitud a la cual el 50% de los organismos se encuentran sexualmente maduros.

## **2.7. Análisis estadísticos**

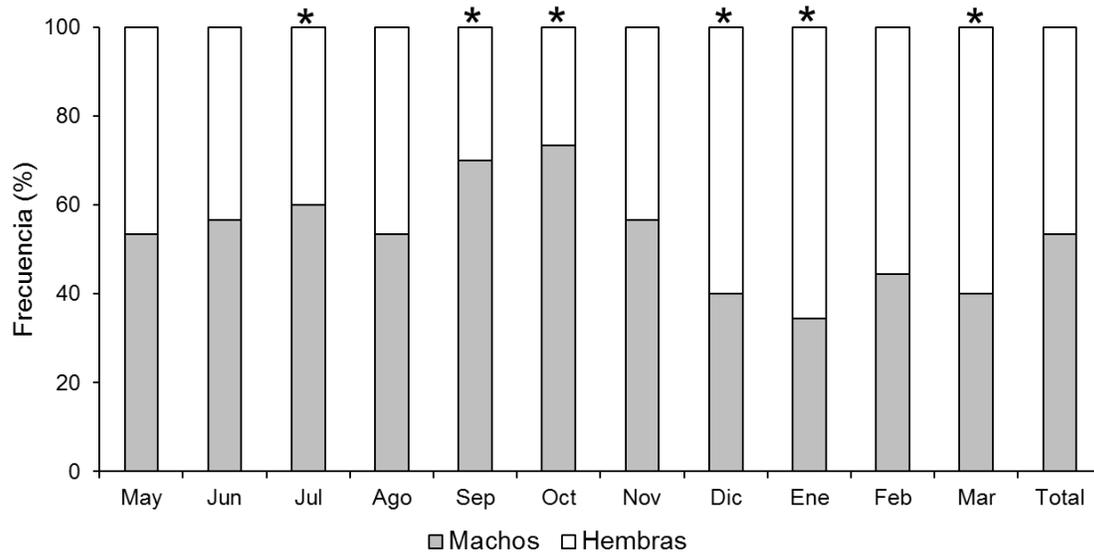
Se realizó un análisis de Chi-cuadrada ( $X^2$ ) para buscar diferencias significativas entre la frecuencia de machos y hembras por intervalo de tallas. También se realizaron análisis de variancia (ANDEVA) de una vía para detectar diferencias significativas entre los promedios mensuales del índice gonadosomático, índice hepatosomático y el factor de condición de Fulton. Debido a que los valores de estos índices son expresados en porcentaje, fueron previamente transformados con la función de arcoseno para reducir la dependencia de la varianza de las muestras. Se realizó una prueba  $t$  de Student para determinar si el coeficiente de alometría ( $b$ ) presentaba diferencias significativas respecto a las hipótesis de crecimiento ( $H_0: b= 3$ ,  $H_1: b \neq 3$ ) (Zar, 2010). Adicionalmente, se estimaron los intervalos de confianza al 95% (IC<sub>95%</sub>) para  $a$  y  $b$  (De la Hoz *et al.*, 2016). Para todos los análisis estadísticos se utilizó el software STATISTICA versión 10, con un nivel de significancia de 0.05 (Zar, 2010).

## **3. RESULTADOS**

### **3.1. Proporción de sexos y distribución de tallas**

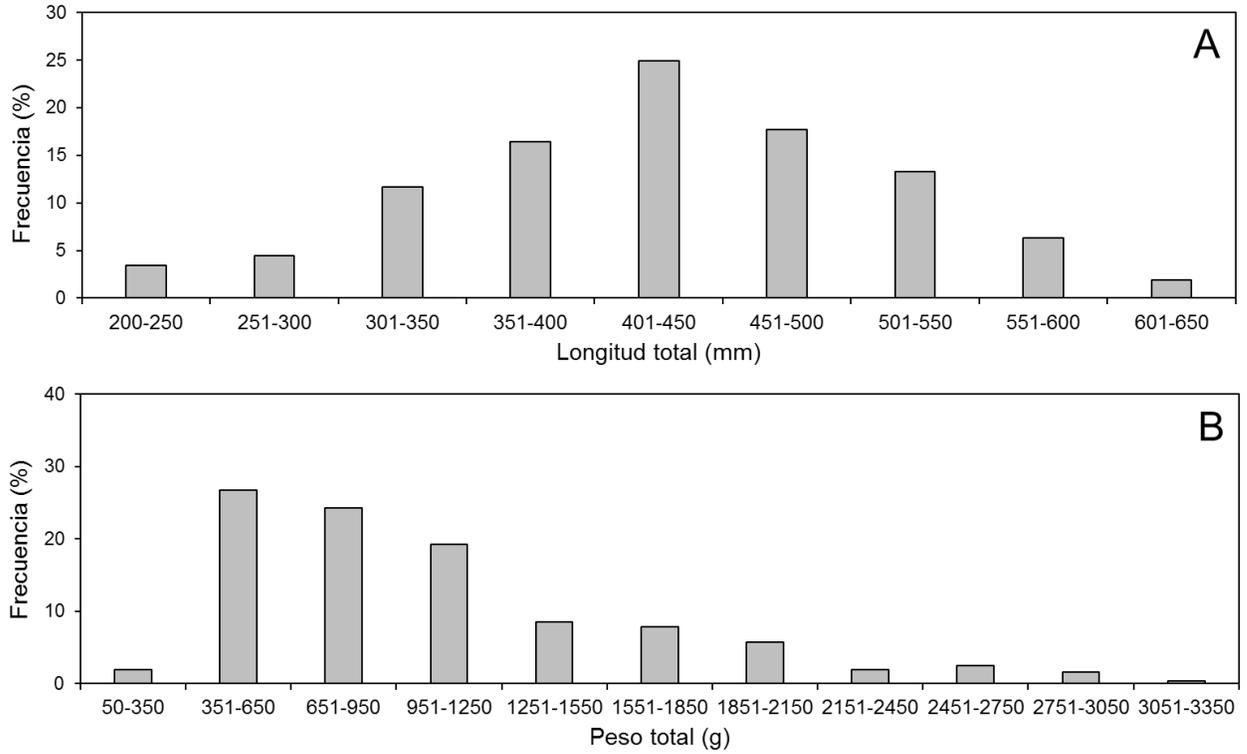
Se analizó un total de 317 especímenes de *Caulolatilus princeps*, de los cuales el 47% fueron hembras ( $n= 148$ ) y el 53% fueron machos ( $n= 169$ ), con una proporción de sexos general (hembra:macho) de 1H:1.1M, la cual no presentó diferencias significativas ( $X^2= 0.44$ ,  $g/= 1$ ,  $P= 0.5$ ) entre ambos sexos. En la proporción de sexos por mes se presentaron diferencias significativas en julio ( $X^2= 4$ ,  $g/= 1$ ,  $P= 0.04$ ), septiembre ( $X^2= 16$ ,  $g/= 1$ ,  $P= 0.00$ ) y octubre ( $X^2= 21.7$ ,  $g/= 1$ ,  $P= 0.00$ ), donde la

presencia de los machos fue más abundante, mientras que en diciembre ( $X^2= 4$ ,  $g/= 1$ ,  $P= 0.04$ ), enero ( $X^2= 9.6$ ,  $g/= 1$ ,  $P= 0.01$ ) y marzo ( $X^2= 4.1$ ,  $g/= 1$ ,  $P= 0.03$ ) predominaron las hembras (Fig. 1).

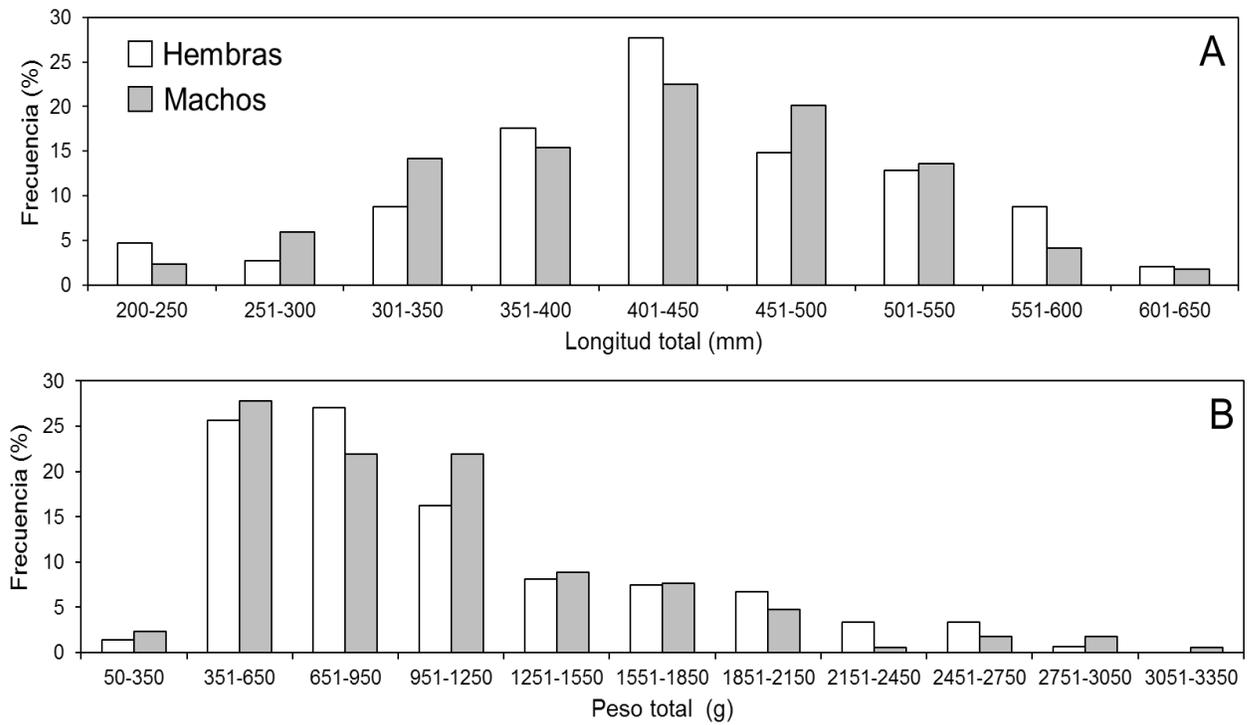


**Figura 1.** Proporción de sexos mensual y total del pez blanco *Caulolatilus princeps* en El Rosario, Baja California, México, durante el periodo de mayo de 2019 a marzo de 2020. (\*) indica diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

La distribución de tallas general estuvo compuesta por organismos entre 210 a 640 mm de longitud total (LT) (media= 431 mm  $\pm$  error estándar= 7.8 mm) y el peso total (PT) varió entre 290 y 3176 g (1061 g  $\pm$  42.6 g) (Fig. 2). Los grupos de tallas más abundantes fueron entre los 401 y 500 mm de LT (43%), mientras que la mayoría de los organismos oscilaron entre los 351 y 650 g de PT (27%). La estructura de tallas y pesos por sexos no evidenció una distribución diferencial ( $P > 0.05$ ) entre hembras y machos (Fig. 3). La mayor proporción de hembras y machos se presentó entre los 401-450 mm de LT y entre 351-950 g de PT.



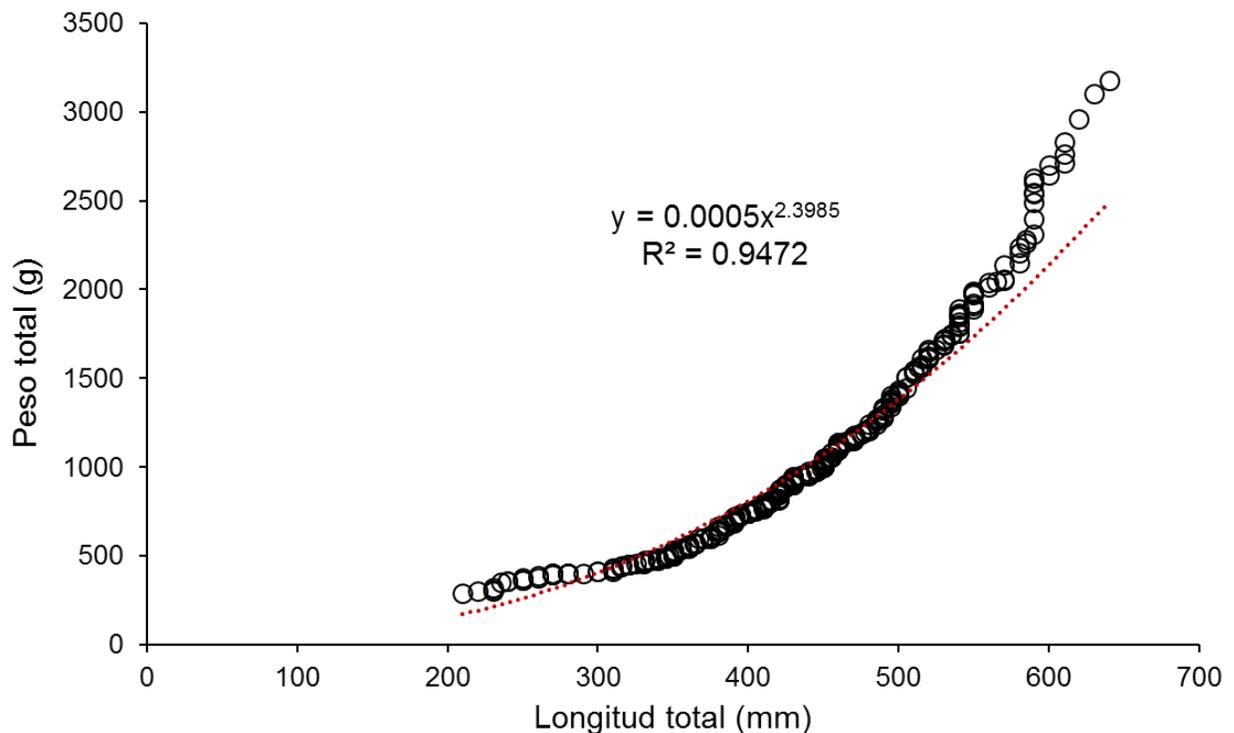
**Figura 2.** Estructura de tallas (A) y pesos (B) del pez blanco *Caulolatilus princeps* en El Rosario, Baja California, México.



**Figura 3.** Estructura de tallas (A) y pesos (B) por sexo del pez blanco *Caulolatilus princeps* en El Rosario, Baja California, México.

### 3.2. Relación longitud-peso e índices morfofisiológicos

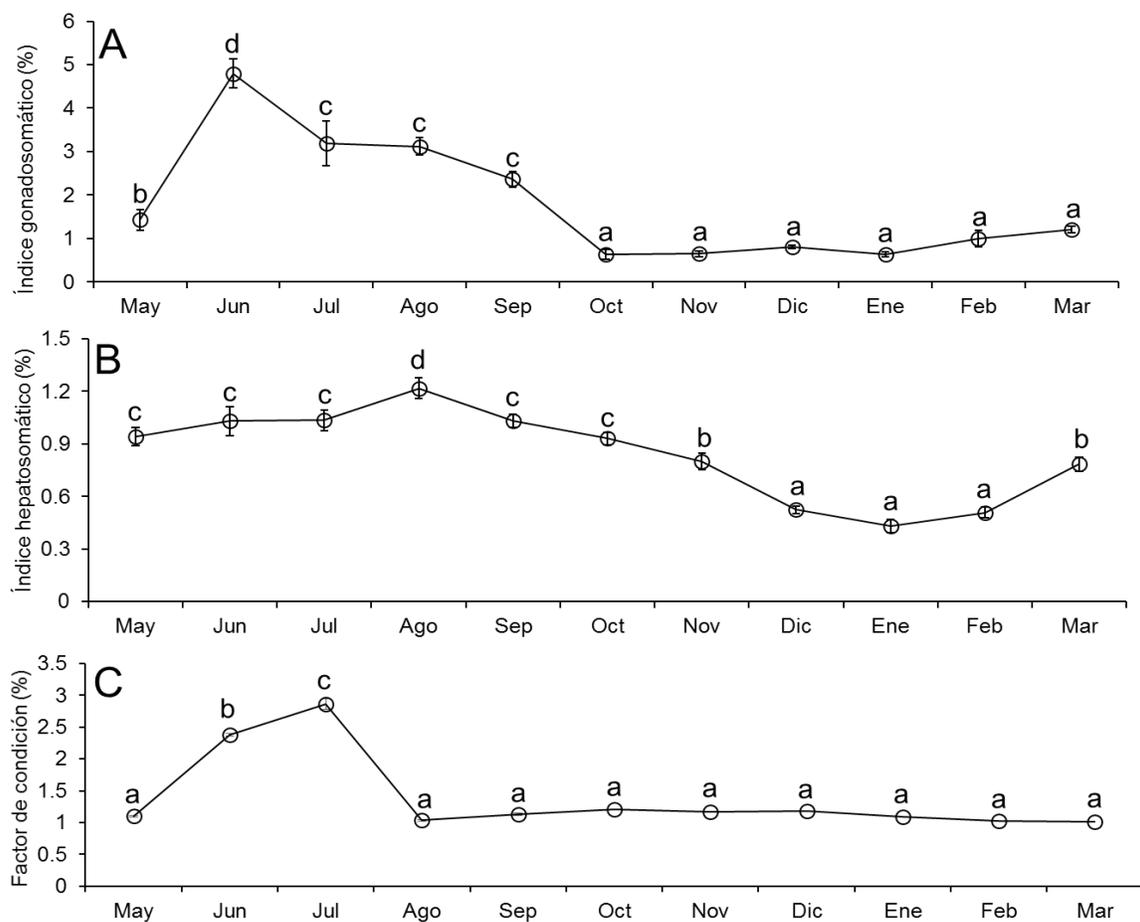
Los parámetros de la relación longitud-peso, a través de la función potencial, indicaron un valor de la pendiente ( $b$ ) de 2.39 y un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de 0.94 (Fig. 4). Los intervalos de confianza (95%) inferiores para  $b$  y  $a$  fueron de 2.33 y 0.03, respectivamente, mientras que los intervalos superiores fueron de 2.46 y 0.04. El crecimiento fue significativamente diferente de 3 ( $t= 4.31$ ,  $P < 0.05$ ).



**Figura 4.** Relación longitud-peso del pez blanco *Caulolatilus princeps* en El Rosario, Baja California, México.

El índice gonadosomático (IGS) presentó diferencias significativas entre los meses de estudio ( $F_{(10, 306)} = 40.3$ ,  $P= 0.0001$ ) (Fig. 5A). En junio se presentó el valor más alto del IGS (4.8%), seguido de julio, agosto y septiembre (3.1%, 3.1% y 2.3%, respectivamente). A partir de octubre (0.6%) se observó una disminución significativa,

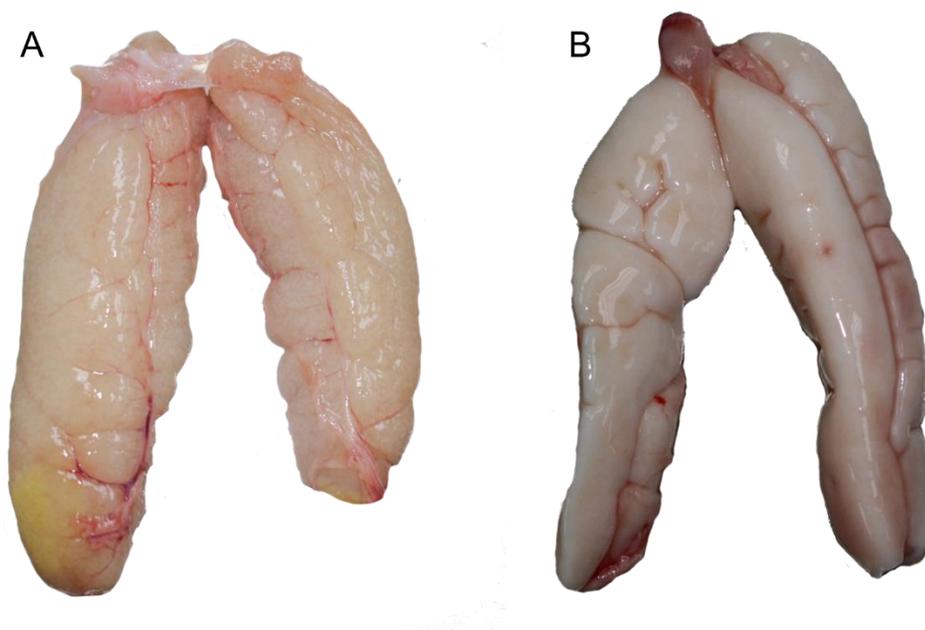
la cual se extendió hasta marzo (1.2%). Por su parte, el índice hepatosomático (IHS) también mostró diferencias significativas entre los meses analizados ( $F_{(10,306)} = 26.6$ ,  $P= 0.003$ ) (Fig. 5B). Los valores del IHS fueron altos de mayo a octubre, donde el mayor valor se presentó en agosto (1.2%). A partir de noviembre (0.8%), se observó una disminución significativa, la cual se mantuvo durante diciembre, enero y febrero, meses en los que se presentaron los valores más bajos (0.5%, 0.4% y 0.5%, respectivamente). Por su parte, aunque el factor de condición de Fulton (FC) se mantuvo constante en la mayor parte del periodo de estudio, también presentó diferencias significativas entre los meses ( $F_{(10,306)} = 180.9$ ,  $P= 0.001$ ) (Fig. 5C). El valor más alto del FC se presentó en julio (2.8). A partir de agosto, se observó una disminución significativa que se mantuvo hasta marzo con valores bajos entre 1.0% y 1.2%.



**Figura 5.** Índices morfofisiológicos del pez blanco *Caulolatilus princeps* en El Rosario, Baja California, México, durante mayo de 2019 a marzo de 2020. Índice gonadosomático (A), índice hepatosomático (B) y factor de condición de Fulton (C). Letras diferentes indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ). Las barras corresponden al error estándar.

### **3.3. Estructura macroscópica de la gónada y fases de desarrollo gonádico**

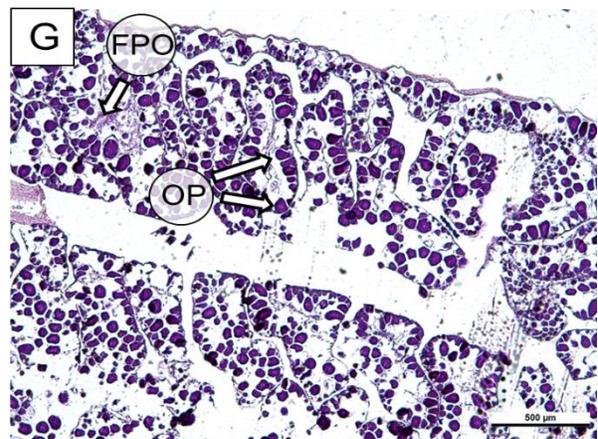
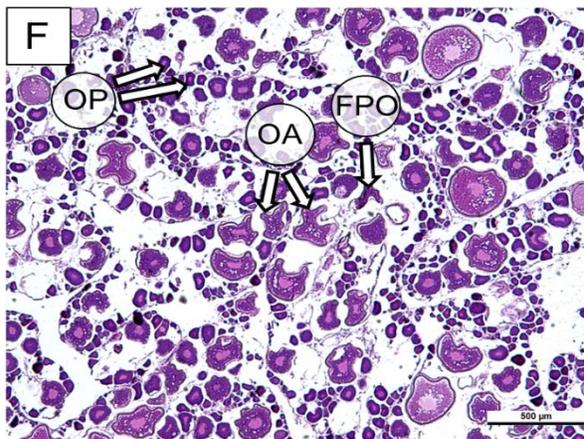
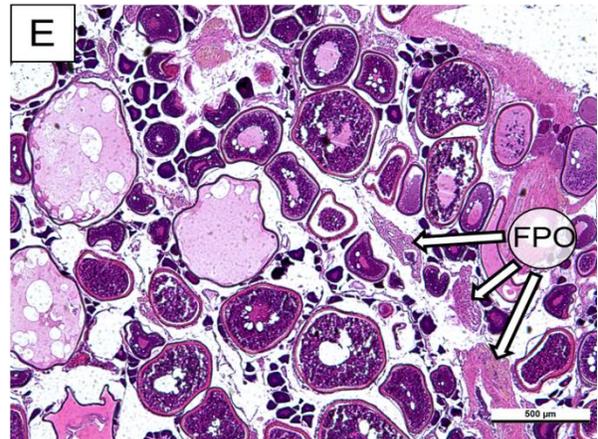
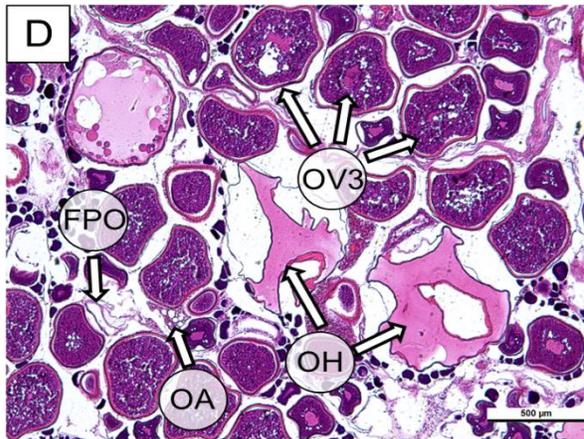
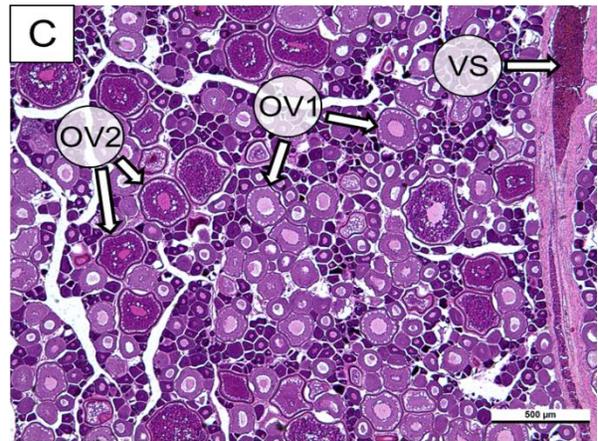
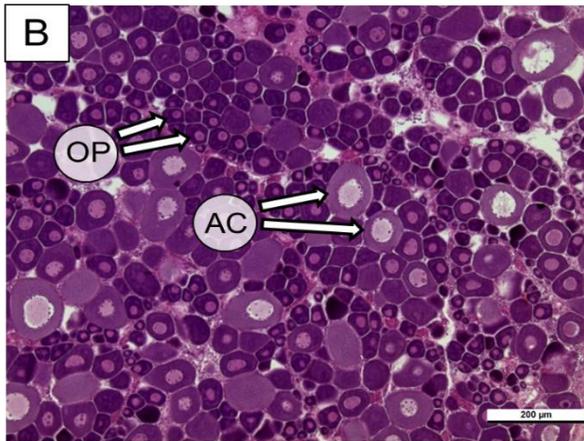
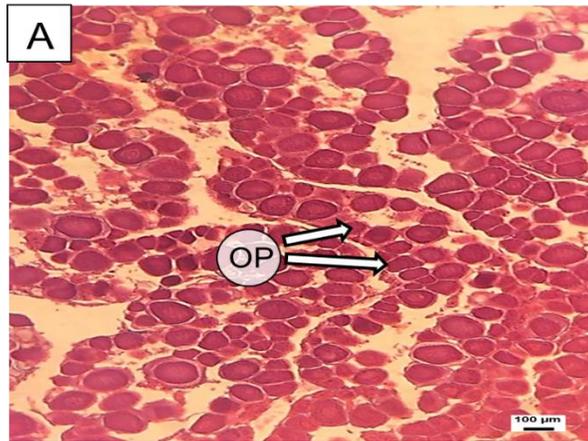
Externamente, tanto el ovario como el testículo presentan dos lóbulos alargados y cilíndricos y, en algunos casos, se observaron algunos vasos sanguíneos (Fig. 6). El tipo de textura y la coloración de las gónadas dependerán de la fase de desarrollo gonádico en la que se encuentre el pez.



**Figura 6.** Estructura macroscópica de la gónada del pez blanco *Caulolatilus princeps* en El Rosario, Baja California, México. (A) ovario en desarrollo; (B) testículo en capacidad de desove.

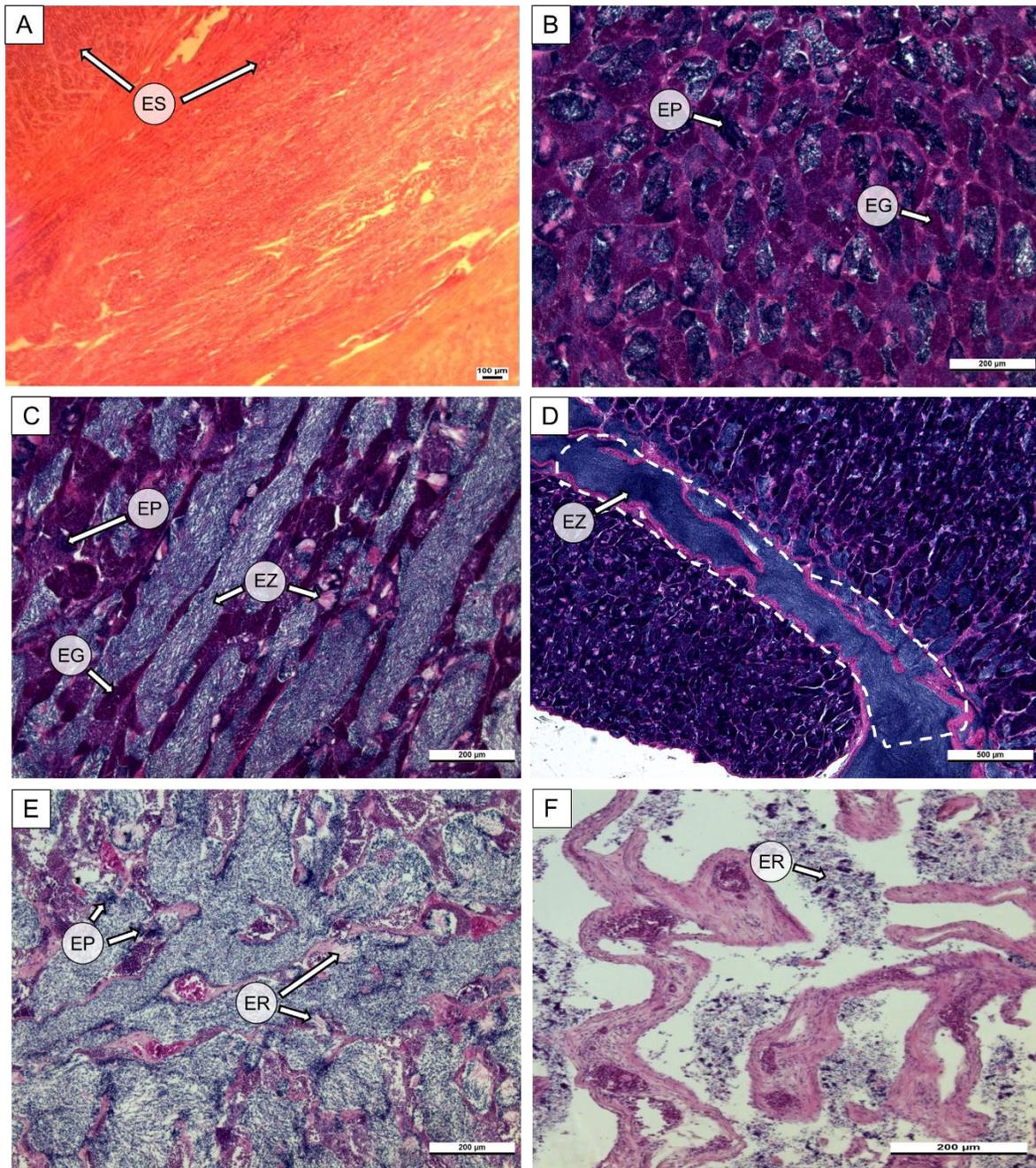
*Caulolatilus princeps* es una especie gonocórica que presenta un desarrollo gonadal de tipo asincrónico con desoves parciales. Tanto en hembras como en

machos, se observaron cinco fases de desarrollo: inmadurez, desarrollo, capacidad de desove, regresión y regeneración. En las hembras, en la fase de inmadurez (Fig. 7A) se presentó una gran concentración de ovogonias y ovocitos en crecimiento primario, con poco espacio entre ellos. La pared ovárica se observó relativamente delgada y la presencia de ovocitos primarios en estado de núcleo-cromatina y perinucleolar fue evidente. En esta etapa no se evidenció ningún tipo de atresia. Durante el desarrollo (Fig. 7B y 7C), se observaron mayormente ovocitos primarios y algunos alveolos corticales. Conforme avanzó el desarrollo, se observaron algunos ovocitos vitelogénicos primarios y secundarios, así como algunos vasos sanguíneos. En la fase de capacidad de desove (Fig. 7D y 7E), se observaron principalmente ovocitos vitelogénicos terciarios, folículos post-ovulatorios, así como algunos ovocitos atrésicos y ovocitos hidratados. En la fase de regresión (cese del desove) (Fig. 7F), se observó una gran cantidad de ovocitos atrésicos, folículos post-ovulatorios y ovocitos maduros en reabsorción. Finalmente, la fase de regeneración (Fig. 7G) se caracterizó por la presencia exclusiva de ovocitos primarios en crecimiento, con espacio relativamente amplio entre ellos, así como la presencia de algunos folículos post-ovulatorios en degeneración.



**Figura 7.** Microfotografías de las fases de desarrollo gonádico de hembras del pez blanco *Caulolatilus princeps*. (A) inmadurez, (B-C) desarrollo, (D-E) capacidad de desove, (F) regresión y (G) regeneración. AC= alveolo cortical; FPO= folículo post-ovulatorio; OA= ovocito atrésico; OH= ovocito hidratado; OP= ovocito primario; OV1= ovocito vitelogénico primario; OV2= ovocito vitelogénico secundario; OV3= ovocito vitelogénico terciario; VS= vaso sanguíneo.

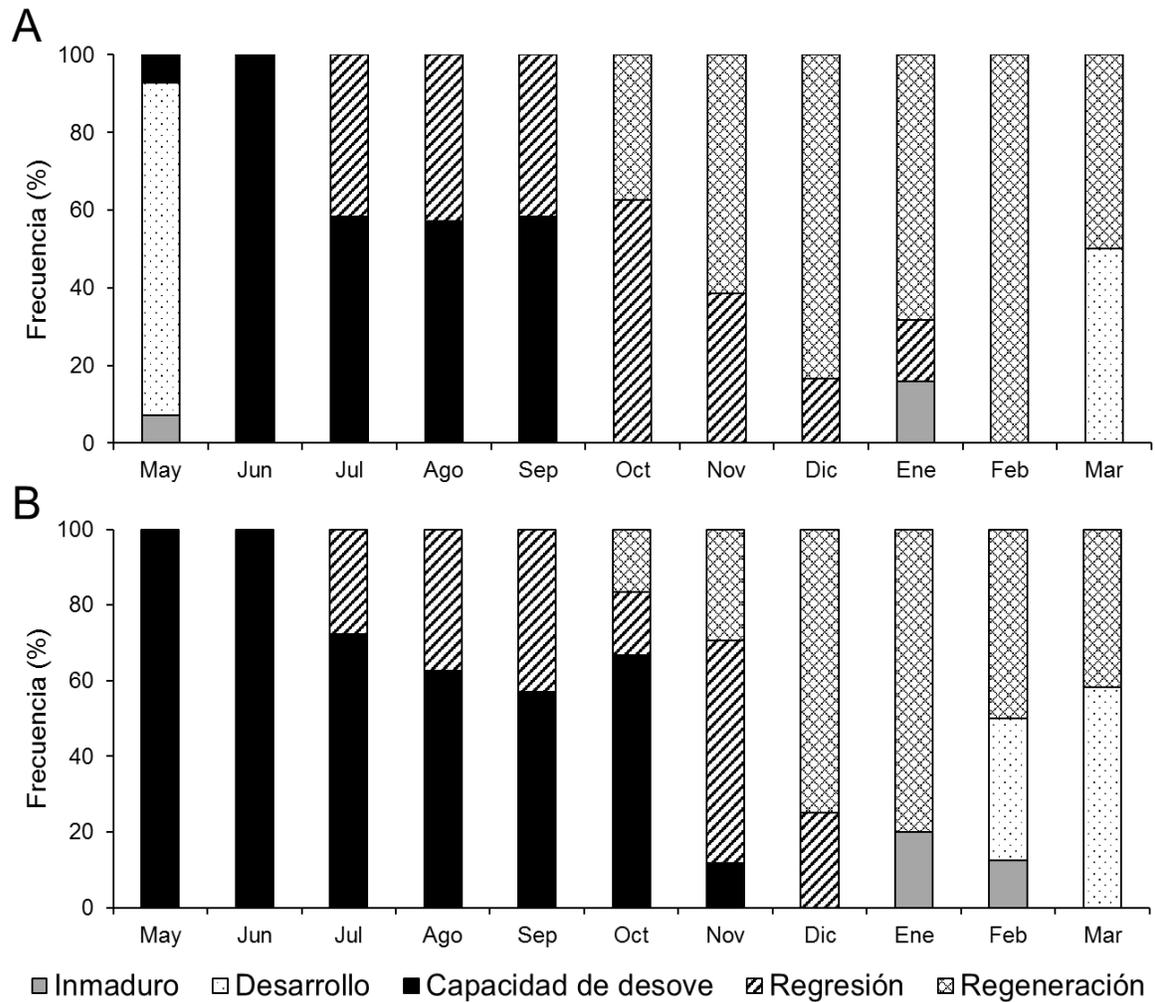
Por su parte, en los machos, la fase de inmadurez (Fig. 8A) se caracterizó por la presencia de una pared testicular delgada y únicamente se observaron espermatogonias primarias. En la fase de desarrollo (Fig. 8B) fue abundante la presencia de espermatogonias secundarias, espermatocitos primarios y, en menor cantidad, espermatocitos secundarios, así como algunas espermátidas. La fase de capacidad de desove (Fig. 8C y 8D) se distinguió principalmente por una gran concentración de espermatozoides dentro de los lóbulos o conductos espermáticos, los cuales se encontraban totalmente llenos. En la fase de regresión (Fig. 8E) existe poca o nula actividad espermatogénica, con espermatocitos dispersos y algunos conductos espermáticos completamente vacíos o con espermatozoides residuales. En la fase de regeneración (Fig. 8F) no hay presencia de espermatocitos y solo hay una pequeña cantidad de espermatozoides residuales dentro de la luz de los lóbulos.



**Figura 8.** Microfotografía de las fases de desarrollo gonádico de machos del pez blanco *Caulolatilus princeps*. (A) inmadurez, (B) desarrollo, (C-D) capacidad de desove, (E) regresión y (F) regeneración. ES= espermatocitos; EG= espermatogonias; EP= espermatidas; ER= espermatozoides residuales; EZ= espermatozoides. La línea punteada en la figura D indica un seno espermático.

### **3.4. Ciclo reproductivo y temporada reproductiva**

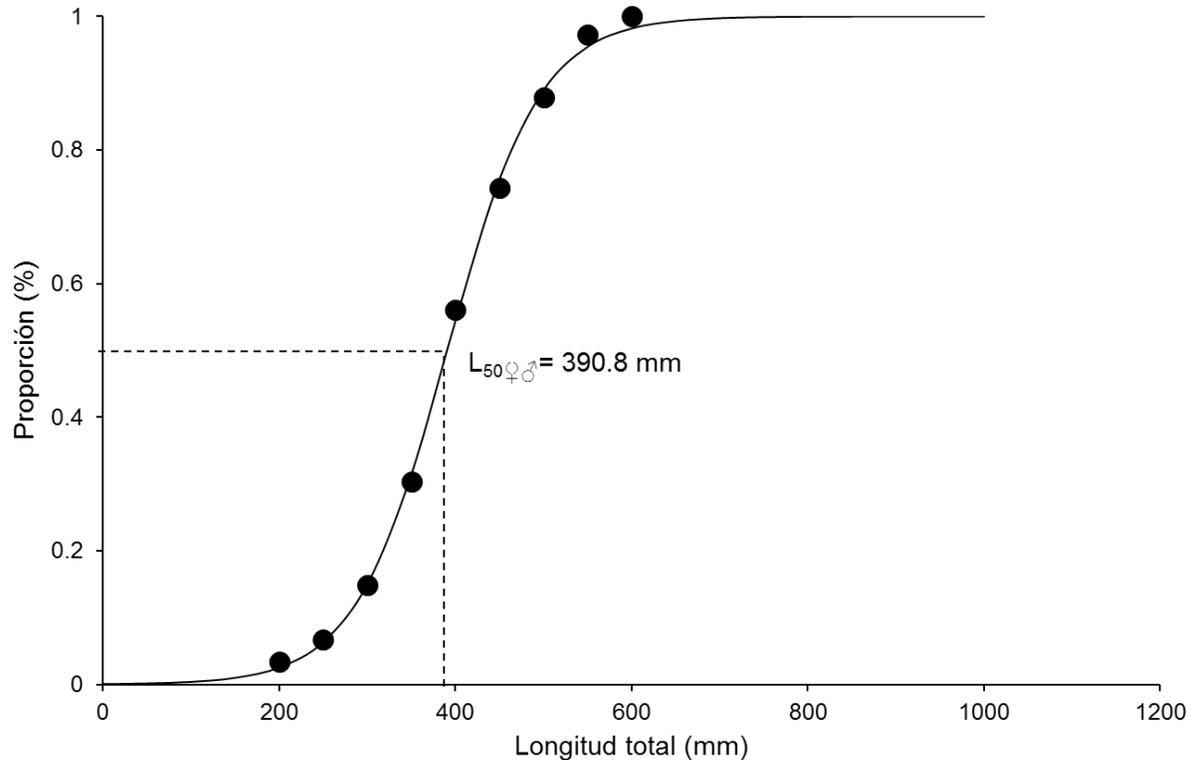
Las frecuencias de las fases de desarrollo gonádico de hembras y machos de *C. princeps* durante el periodo de estudio se presentan en la Figura 9. En las hembras, los organismos inmaduros se observaron en mayo (7.1%) y enero (15.7%), mientras que en los machos esta fase se presentó en enero (20%) y febrero (12.5%). La fase de desarrollo en las hembras se observó con mayor proporción en mayo (85.7%) y en marzo (50%) y en los machos, se observó en febrero (37.5%) y con una mayor frecuencia en marzo (58.3%). La capacidad de desove en las hembras se presentó de mayo (7.1%) a septiembre (58.3%), con la máxima proporción en junio (100%). En los machos, la capacidad de desove también se presentó a partir de mayo, sin embargo, se prolongó hasta noviembre, con las mayores proporciones (100%) en mayo y junio, y una evidente disminución en noviembre (11.7%). La fase de regresión estuvo presente casi a la par de la capacidad de desove en el caso de los machos, con las mayores frecuencias en noviembre (58.8%); en las hembras, la regresión se presentó de julio a enero, con el valor más alto en octubre (62.5%). La fase de regeneración se presentó a partir de octubre y se extendió hasta marzo en ambos sexos, pero las mayores proporciones se presentaron en diciembre en las hembras (83.3%) y en enero en los machos (80%). Con base en el ciclo reproductivo, se establece que la temporada reproductiva del pez blanco *C. princeps*, la cual se caracteriza por la presencia de organismos en la fase capacidad de desove, se presenta de mayo a noviembre, con una intensidad máxima en junio (100% en ambos sexos) y julio (58.3% y 72.2% para hembras y machos, respectivamente).



**Figura 9.** Ciclo reproductivo de hembras (A) y machos (B) del pez blanco *Caulolatilus princeps* en El Rosario, Baja California, México, durante el periodo de mayo de 2019 a marzo de 2020.

### 3.5. Talla de madurez sexual ( $L_{50}$ )

La talla de madurez sexual ( $L_{50\%}$ ) poblacional de *C. princeps* (hembras y machos) fue establecida a los 390.8 mm de longitud total (Fig. 10).



**Figura 10.** Talla de madurez sexual ( $L_{50\%}$ ) del pez blanco *Caulolatilus princeps* en El Rosario, Baja California, México.

## DISCUSIÓN

Aunque el pez blanco (*Caulolatilus princeps*) representa una pesquería importante para las comunidades del noroeste de México, los trabajos acerca de su reproducción son limitados. En este estudio, se proporciona nuevo conocimiento sobre diversos aspectos de su biología reproductiva.

La proporción de sexos es un atributo importante para la dinámica poblacional de las especies sujetas a las pesquerías. En este estudio, la proporción general de hembras y machos fue de 1:1.1, similar a la reportada por Elorduy-Garay & Ramírez-Luna (1994) para la misma especie en la bahía de La Paz, Baja California Sur, y también similar a la de *Caulolatilus affinis* en la Isla Cerralvo, dentro del Golfo de California (Ceballos-Vázquez *et al.*, 1998). De acuerdo con Nikolsky (1980), la proporción de sexos en una población natural más común es la 1:1. Sin embargo, esta proporción puede variar de acuerdo con diversos factores tales como la longevidad, la

mortalidad, inversión sexual, procesos de migración, artes de pesca, tallas de los individuos, así como a las estaciones del año, entre otras (Vicentini & Araujo, 2003; Koutrakis *et al.*, 2004; Deepak, 2005). En este sentido, la proporción de *C. princeps* sí presentó diferencias en algunos meses del periodo de estudio. Los machos fueron más abundantes principalmente durante los meses de verano, lo cual coincidió con la temporada reproductiva, mientras que las hembras proliferaron más durante el invierno. Esta diferenciación estacional, pudiera ser explicada desde el punto de vista del comportamiento animal durante los procesos de desove. En este proceso, los machos suelen concentrarse mayormente debido al cortejo y acoplamiento para fertilizar los huevos liberados, tal como se ha reportado en el pez espada *Xiphias gladius* (Neilson *et al.*, 2013). Este comportamiento también ha sido documentado en especies de malacántidos, donde los machos de *Malacanthus plumieri* forman agrupaciones para cortejar y aparearse (Clark *et al.*, 1988).

La estructura de tallas de *C. princeps* de la zona costera de El Rosario, Baja California, difiere a la de la población de bahía de La Paz, Baja California Sur, donde la talla mínima fue de 152 mm de longitud y la máxima fue de 505 mm (Elorduy-Garay *et al.*, 2005). En este estudio, la mínima fue de 210 mm de longitud total y la talla máxima fue de 640 mm. Aunque las capturas de ambas poblaciones provienen de la pesca comercial, las diferencias en la estructura de tallas pudieran deberse a la selectividad del método de captura de los especímenes. En este sentido, Elorduy-Garay & Ramírez-Luna (1994) reportaron que los organismos fueron extraídos con anzuelo y línea de mano (el tamaño del pez capturado dependerá del tamaño del anzuelo), mientras que, en este estudio, los peces fueron capturados con trampa, la cual está tecnificada para brindar cierta selectividad en las capturas de este recurso, ya que su operación permite obtener peces adultos o de mayor tamaño.

El tipo de crecimiento encontrado en este estudio para *C. princeps* fue alométrico negativo (2.39), el cual coincide con lo reportado para *M. plumieri* (2.69) y *C. affinis* (2.66) (Frota *et al.* 2004; Ramírez-Pérez *et al.*, 2011). En contraste, también se ha reportado un crecimiento alométrico positivo e isométrico en *C. affinis* (3.29) y *C. princeps* (2.97), respectivamente (Elorduy-Garay & Ruiz-Córdoba, 1998; Elorduy-Garay *et al.*, 2005). Estas variaciones en los parámetros de alometría suelen ser

comunes en las especies de la familia Malacanthidae y pudieran estar relacionadas con muchos factores, entre los que destacan algunos aspectos biológicos y ambientales tales como el crecimiento del organismo, la etapa de vida y la reproducción, así como la disponibilidad de alimento y la temperatura del mar, entre otros (Jennings *et al.*, 2001; Froese, 2006).

A nivel macroscópico, la morfología y estructura de la gónada de *C. princeps* fue similar a la de otros teleósteos, con órganos bilobulares dispuestos dorsoventralmente en ambos sexos, los cuales varían en textura y coloración dependiendo de la fase de desarrollo gonádico en la que se encuentren los peces (Fishelson *et al.*, 1987). El análisis histológico indicó que el pez blanco *C. princeps*, en El Rosario, Baja California, presenta una condición gonocórica, sin evidencia de hermafroditismo y el desarrollo gonádico es de tipo asincrónico con la presencia simultánea de células sexuales en diferentes grados de desarrollo y con desoves parciales, lo cual es común en los peces teleósteos marinos (Tyler & Sumpter, 1996). La histoarquitectura general encontrada en las diferentes fases del desarrollo gonádico de *C. princeps* fue similar a la descrita por Elorduy-Garay & Ramírez-Luna (1994) para las hembras y por Ceballos-Vázquez & Elorduy-Garay (1998) para los machos de *C. affinis*. El desarrollo gonádico de los machos no ha sido descrito previamente en *C. princeps*, por lo que este trabajo representa el primer reporte. La actividad reproductiva en las hembras del pez blanco está bien definida para la zona de El Rosario, Baja California, con una marcada temporada de desove, principalmente en verano (mayo a septiembre) y una recuperación de la gónada en invierno después del evento reproductivo. En los machos, el desove se lleva a cabo de mayo a noviembre, pero con una mayor intensidad en junio y julio, al igual que en las hembras. Este patrón difiere al descrito en *C. princeps* en la bahía de La Paz, Baja California Sur, donde presenta un periodo masivo de desove de cuatro meses, principalmente durante el invierno (noviembre a marzo). También, este esquema de reproducción difiere del reportado en *C. affinis* para la misma zona, donde se observó un periodo reproductivo continuo con desoves durante casi todo el año (Ceballos-Vázquez & Elorduy-Garay, 1998). Estas diferencias pudieran estar relacionadas con las condiciones ambientales de cada zona, principalmente la temperatura del mar y la disponibilidad de alimento.

Está bien documentado que la reproducción en los peces depende de los factores ambientales presentes en las zonas donde habitan, los cuales pueden favorecer o afectar negativamente la maduración, la ovulación y el desove (Saborido-Rey, 2014). Una hipótesis para explicar las variaciones espaciotemporales de la reproducción de *C. princeps* es que la especie respondería a un intervalo definido de temperatura óptima para llevar a cabo la maduración gonádica y, considerando las posiciones geográficas de las zonas de estudio, en El Rosario, Baja California, esta temperatura óptima se presentaría durante el verano y coincidiría con los valores de temperatura que se presentan durante el invierno en la bahía de La Paz, Baja California Sur.

Los índices morfofisiológicos son indicadores indirectos del estado fisiológico, nutricional y reproductivo de los organismos (Lloret & Rätz, 2000). En este sentido, el IGS estuvo estrechamente relacionado con la temporada reproductiva del pez blanco, ya que los valores más altos se presentaron en verano, cuando se observó la fase de capacidad de desove; de hecho, el valor más alto se presentó en junio (4.8%), lo cual coincide con el 100% de organismos en capacidad de desove en ambos sexos. A partir de octubre se observó una disminución significativa del IGS, la cual se extendió hasta marzo de 2020, coincidiendo con la fase de regresión y regeneración. Con base en estos resultados, se establece que el IGS es un buen indicador de la actividad reproductiva de *C. princeps*. Por otro lado, tanto el IHS y el FC presentaron sus valores máximos cuando se presentó el periodo de reproducción. De acuerdo con Saborido-Rey (2014), si el IHS presenta una tendencia opuesta al IGS, reflejaría una posible transferencia de energía (principalmente lípidos) del hígado hacia la gónada con la finalidad de contribuir al proceso gametogénico y para mitigar el alto gasto energético del desove, así como la síntesis de algunas lipofosfoproteínas producidas en el hígado durante el periodo reproductivo; sin embargo, este no parece ser el caso de *C. princeps*, ya que las fluctuaciones del IGS y el IHS fueron relativamente sincrónicas, lo que sugiere que parte de la energía requerida para el desove del pez blanco podría no derivarse del hígado, por lo que se presume que este órgano no juega un papel determinante para el aporte de reservas energéticas destinadas para su reproducción. Por su parte, el FC refleja la energía disponible para el organismo y, en este sentido, los valores más altos presentes durante la temporada reproductiva (principalmente en

junio y julio) pudieran indicar que este pez presenta una buena condición, en términos energéticos, durante la temporada reproductiva y, posteriormente, disminuye durante la regeneración de la gónada de agosto a marzo.

La talla de madurez ( $L_{50\%}$ ) es un parámetro importante en la investigación pesquera para evaluar la talla de captura mínima permisible para las especies de peces (Chelapurath *et al.*, 2020). En el presente estudio, la talla de madurez calculada para *C. princeps* fue establecida a los 390.8 mm de longitud total, talla a la cual el 50% de los organismos se encuentran sexualmente maduros. Sin embargo, de acuerdo con el análisis histológico, se presentaron algunos especímenes en capacidad de desove a partir de los 350 mm de longitud total. Es importante resaltar que en este estudio se utilizaron únicamente peces provenientes de la pesca comercial, por lo tanto, no se incluyen peces de tallas pequeñas (juveniles), lo cual ayudaría a tener mayor certeza respecto a la talla de madurez. A la fecha no se ha reportado la  $L_{50\%}$  para esta especie, por lo que dicho parámetro, calculado en este estudio, podría ser útil para que los pescadores y pescadoras, así como las autoridades locales establezcan una talla mínima de captura para *C. princeps* en El Rosario, Baja California.

Los resultados descritos en el presente estudio aportan información básica sobre la biología reproductiva de *C. princeps* que puede contribuir en la elaboración de propuestas de manejo pesquero, tales como el establecimiento de una temporada de veda basada en el ciclo reproductivo y una talla mínima de captura a partir de la talla de madurez. Finalmente, es recomendable complementar este trabajo con estudios adicionales que permitan ampliar el conocimiento de otros aspectos básicos de la biología reproductiva de *C. princeps*, tales como análisis de fecundidad, análisis cualitativos y cuantitativos de los ovocitos, así como evaluaciones de la relación de los factores ambientales, principalmente temperatura y disponibilidad de alimento, con la reproducción.

## REFERENCIAS

- Barzotto, E. & L. Mateus. 2017. Reproductive biology of the migratory freshwater fish *Salminus brasiliensis* (Cuvier, 1816) in the Cuiabá River basin, Brazil. *Journal of Applied Ichthyology*. 33:415-422.

- Bellquist, L.F., Lowe, C.G. & J.E. Caselle. 2008. Fine-scale movement patterns, site fidelity, and habitat selection of ocean whitefish (*Caulolatilus princeps*). *Fisheries Research*. 91:325-335.
- Brown-Peterson, N.J., Wyanski, M.D., Saborido-Rey, F., Macewicz, J.B. & K.S. Lowerre. 2011. A standardized terminology for describing reproductive development in fishes. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science*. 3:52-70.
- Brown-Peterson, N.J., R.T. Leaf, A.M. Schueller & M.J. Andres. 2017. Reproductive dynamics of gulf menhaden (*Brevoortia patronus*) in the northern Gulf of Mexico: effects on stock assessments. *Fishery Bulletin*. 115:284-299.
- Ceballos-Vázquez, B.P. & J.F. Elorduy-Garay. 1998. Gonadal development and spawning of the golden-eyed tilefish *Caulolatilus affinis* (Pisces: Branchiostegidae) in the Gulf of California, Mexico. *Bulletin of Marine Science*. 63:469-479.
- Chelapurath, R., Kuttanelloor, R. & M.K. Balakrishna. 2020. Reproductive biology of the endemic cyprinid fish *Hypselobarbus thomassi* (Day, 1874) from Kallada River in the Western Ghats, India. *Journal of Applied Ichthyology*, 36(5), 604-612.
- Clark, E., Rabin, J.S. & S. Holderman. 1988. Reproductive behavior and social organization in the sand tilefish, *Malacanthus plumieri*. *Environmental Biology of Fishes*. 22:273-286.
- De La Hoz, M.J., Motta, J. & J. Paramo. 2016. Length-weight relationships for 36 deep-sea fish in the Colombian Caribbean Sea. *Journal of Applied Ichthyology*. 32: 1356-1359.
- Deepak, P.K. 2005. Life history traits of vulnerable *Catla catla* (Hamilton-Buchanan) and endangered *Chitala chitala* (Hamilton-Buchanan). PhD Thesis. Barkatullah University, Bhopal, India.
- DOF. 2018. Carta Nacional Pesquera 2018. Acuerdo por el que se da a conocer la actualización de la Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación. 11 de junio del 2018.

- Elorduy-Garay, J.F. & S. Ramírez-Luna. 1994. Gonadal development and spawning of the ocean whitefish, *Caulolatilus princeps* Jenyns 1842 (Pisces: Branchiostegidae) in the Bay of La Paz, B.C.S., México. *Journal of Fish Biology*. 44:553-566.
- Elorduy-Garay, J.F. & J. Caraveo-Patiño. 1994. Hábitos alimentarios de la pierna, *Caulolatilus princeps* Jenyns 1842 (Pisces: Branchiostegidae) en la Bahía de La Paz, B.C.S., México. *Ciencias Marinas*. 20:199-218.
- Elorduy-Garay J.F. & S.S. Ruiz-Córdova. 1998. Age, growth, and mortality of *Caulolatilus affinis* (Osteichthyes: Branchiostegidae) from the southern Gulf of California. *Pacific Science*. 52:259-272
- Elorduy-Garay, J.F., Ruiz-Córdova, F.S.S. & J.G. Díaz-Urbe. 2005. Age, growth and mortality of *Caulolatilus princeps* (Pisces: Malacanthidae) from the southern Gulf of California. *Hidrobiológica*. 15:289-297.
- Fishelson, L., Montgomery L. & A. Myrberg. 1987. Biology of surgeonfish *Acanthurus nigrofuscus* with emphasis on changeover in diet and annual gonadal cycles. *Marine Ecology Progress Series*. 39:37-47.
- Froese, R. 1998. Length-weight relationships for 18 less-studied fish species. *Journal of Applied Ichthyology*. 14:117-118.
- Froese, R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: History, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*. 22:241-253
- Frota, L.O., Costa, P.A.S. & A.C. Braga. 2004. Length-weight relationships of marine fishes from the central Brazilian coast. *NAGA, WorldFish Center Quarterly*. 27: 20-26.
- Gastélum-Nava, E., Fernández-Rivera Melo F. & L. Rocha-Tejeda. 2016. Ficha técnica del Blanco *Caulolatilus princeps* (Jenyns, 1840), en Baja California y Golfo de California, México. Comunidad y Biodiversidad A.C. 12 pp.
- Humason, G.L. 1979. Animal tissue techniques. Fourth ed. San Francisco: W.H. Freeman and Company. 661 pp.

- Jennings, S., Pinnegar, J.K., Polunin, N.V. & T.W. Boon. 2001. Weak cross-species relationships between body size and trophic level belie powerful size-based trophic structuring in fish communities. *Journal of Animal Ecology*. 70:934-944.
- Koutrakis, E.T., Kamidis, N.I. & I.D. Leonardos. 2004. Age, growth and mortality of a semi-isolated lagoon population of sand smelt, *Atherina boyeri* (Risso, 1810) (Pisces: Atherinidae) in an estuarine system of northern Greece. *Journal of Applied Ichthyology*. 20:382-388
- Lea, R.N. & R.F. Feeney. 2016. Status of two species of tilefish, *Caulolatilus princeps* (Jenyns) and *C. hubbsi* Dooley, originally described from the Galapagos Islands. *Galapagos Research*. 68:10-12.
- Le Cren, E.D. 1951. The Length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*) Author (s): E.D. Le Cren Source: *Journal of Animal Ecology*, Vol. 20, No. 2 (Nov. 1951), pp. 201-219. British Ecological Society, 20(2), 201-219.
- Lloret, J. & H.J. Rätz. 2000. Condition of cod (*Gadus morhua*) off Greenland during 1982–1998. *Fisheries Research*. 48:79-86.
- Lysak, W. 1980. Lake Winnipeg fish stock assessment program. Manitoba Department of Natural Resources, Canada. MS Report No. 30.
- Neilson, J., Arocha, F., Cass-Calay, S., Mejuto, J., Ortiz, M., Scott, G. & I. Andrushchenko. 2013. The recovery of Atlantic swordfish: the comparative roles of the regional fisheries management organization and species biology. *Reviews in Fisheries Science*. 21:59-97.
- Nikolsky, G.V. 1980. Theory of fish population dynamics as the biological background for rational exploitation and management of fishery resources. Otto Koeltz Science Publishers, Koenigstein.
- Ramírez-Pérez, J.S., Melo-Barrera, F.N. & L.E. Ayala-Bobadilla. 2011. Edad y crecimiento del conejo (*Caulolatilus affinis*) en la región central del Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 37:71-85.
- Rodríguez-Santiago, M.A. & J.A. Rosales-Casián. 2011. Parasite structure of the ocean whitefish *Caulolatilus princeps* from Baja California, México (East Pacific). *Helgolander Marine Research*. 65:197-202.

- Rodríguez-Santiago, M.A., Rosales-Casián, J.A. & M.I. Grano-Maldonado. 2016. Eumetazoan parasites of two marine fish species from Baja California, Mexico: *Sebastes miniatus* (Jordan & Gilbert, 1880) and *Caulolatilus princeps* (Jenyns, 1840). *Journal of Applied Ichthyology*. 32:893-900.
- Saborido-Rey, F. 2014. *Ecología de la reproducción y potencial reproductivo en las poblaciones de peces marinos*. Instituto de Investigaciones Marinas, Universidad de Vigo. 71 pp.
- SAGARPA, 2017. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. 293 pp.
- Stauffer, J.R. & P.M. Kocovsky. 2007. Exploring links between systematics and fisheries management. *Transactions of the American Fisheries Society*. 136: 1122-1125.
- Tyler, C.R. & S.P. Sumpter. 1996. Oocyte growth and development in teleost. *Review in Fish Biology and Fisheries*. 6:287-318.
- Vicentini, R.N. & F.G. Araujo. 2003. Sex ratio and size structure of *Micropogonias furnieri* (Desmarest, 1823) (Perciformes, Sciaenidae) in Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. 63:559-566
- Zar, J.H. 2010. *Biostatistical Analysis*. 5a ed. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River, Nueva Jersey. 931 pp.