



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS**



**BIOLOGÍA REPRODUCTIVA**  
**DE *Prionurus laticlavus* (VALENCIENNES, 1846)**  
**(TELEOSTEI: ACANTHURIDAE) EN LA COSTA**  
**SUDOCCIDENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA,**  
**MÉXICO**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN**  
**MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

**PRESENTA**

**FERNANDO ANTONIO AGUILAR SANTANA**

**LA PAZ, BCS ,----- DE 2020**



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14  
REP 2017

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S. siendo las 12:00 horas del día 14 del mes de Julio del 2020 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS para examinar la tesis titulada:

"BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DE *Prionurus laticlavus* (VALENCIENNES, 1846) (TELEOSTEI: ACANTHURIDAE) EN LA COSTA SUDOCCIDENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, MÉXICO" del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	AGUILAR	Apellido Materno:	SANTANA	Nombre (s):	FERNANDO ANTONIO
-------------------	---------	-------------------	---------	-------------	------------------

Número de registro: B 1 8 0 5 5 8

Aspirante del Programa Académico de Posgrado: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 5 % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo **SI**  **NO**  **SE**  **INSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

**JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN:** *(Por ejemplo, el % de similitud se localiza en metodologías adecuadamente referidas a fuente original)*  
**5% de similitud, la mayor parte se localiza en la bibliografía, coincidencias menores (10 palabras o menos).**

**\*\*Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

Finalmente y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR**  **SUSPENDER**  **NO APROBAR**  la tesis por **UNANIMIDAD**  o **MAYORÍA**  en virtud de los motivos siguientes:

**"SATISFACE LOS REQUISITOS SEÑALADOS POR LAS DISPOSICIONES REGLAMENTARIAS VIGENTES"**

COMISIÓN REVISORA DE TESIS

  
**DR. MARCIAL ARELLANO MARTÍNEZ**

Director de Tesis  
Nombre completo y firma

  
**DR. JUAN JACOBO SCHMITTER SOTO**

Director de Tesis  
Nombre completo y firma

**DR. XCHEL GABRIEL MORENO SÁNCHEZ**  
Nombre completo y firma

**DR. LILIANA HERNÁNDEZ OLALDE**  
Nombre completo y firma

**DR. MARCIAL TRINIDAD VILALLEJO FUERTE**  
Nombre completo y firma

**DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO**  
Nombre completo y firma  
**PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 14 del mes de Julio del año 2020

El (la) que suscribe BM. FERNANDO ANTONIO AGUILAR SANTANA Alumno (a) del Programa

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro B180558 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DR. MARCIAL ARELLANO MARTÍNEZ Y DR. JUAN JACOBO SCHMITTER SOTO

y cede los derechos del trabajo titulado:

"BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DE *Prionurus laticlavus* (VALENCIENNES, 1846) (TELEOSTEI:

ACANTHURIDAE) EN LA COSTA SUDOCCIDENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA, MÉXICO"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: fagsa.03@gmail.com - marellam@ipn.mx -

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

BM. FERNANDO ANTONIO AGUILAR SANTANA

*Nombre y firma del alumno*

## *A mis padres*

*Los pilares de mi vida, quienes han estado en cada paso, tropiezo y triunfo*

## *A mis hermanos*

*Las piezas infaltables en el rompecabezas de mi vida. Su compañía y calidez, a pesar de la distancia, es y será uno de mis más valiosos logros*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN) por haberme abierto las puertas y brindarme la oportunidad de desarrollar un estudio de posgrado con fines de crecimiento académico y personal.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Programa Institucional de Formación de Investigadores del Instituto Politécnico Nacional (PIFI-IPN) por los estímulos económicos.

A mis directores de tesis, el Dr. Marcial Arellano Martínez por su confianza, orientación, e inagotable paciencia y apoyo en cada paso de esta investigación. Al Dr. Juan Jacobo Schmitter Soto por su gran aporte a este proyecto, así como su disposición, confianza y tenacidad. ¡Y a ambos por compartirme parte de su conocimiento y su amistad, gracias!

Al comité tutorial integrado por la Dra. Liliana Hernández Olalde, Dr. Xchel Moreno Sánchez y el Dr. Marcial Villalejo Fuerte, por sus valiosas correcciones y aportes a esta investigación.

A la B. M. Alma Rivera quien honor a su nombre hace, siendo el alma del Laboratorio de Invertebrados Marinos. Y a la Dra. Paty, por compartir parte de su conocimiento y siempre su disposición por enseñar.

Al gran equipo que tuve en cada salida de campo, que sin ellos este trabajo no habría sido posible y quienes hacían del trabajo algo divertido (Alex, Luis, Alma, Pao, Lupis, Alo, Lau, Efraín) y todos los que me ayudaron en algún momento durante esta aventura.

A la increíble familia que encontré en La Paz (Mar, Vale, Lupis, Sammy, Harold, Juan), con quienes el posgrado fue algo más que una emocionante y divertida odisea.

Y a todos mis compañeros de generación, que me ayudaron siempre con una sonrisa y una buena charla.

## INDICE

LISTA DE FIGURAS.....	IV
LISTA DE TABLAS .....	VII
GLOSARIO .....	VIII
RESUMEN .....	XII
ABSTRACT.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2. ANTECEDENTES GENERALES .....	3
2.1 Generalidades de la familia Acanthuridae .....	3
2.2 Aspectos de crecimiento en la familia .....	5
2.3 Aspectos reproductivos de la familia.....	6
2.4 Estudios en <i>Prionurus laticlavius</i> .....	8
2.5 Características de <i>Prionurus laticlavius</i> .....	9
3. JUSTIFICACIÓN.....	11
4. OBJETIVO GENERAL.....	12
5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
6. MATERIALES Y MÉTODOS .....	13
6.1 Área de estudio.....	13
6.2 Captura de organismos .....	13
6.3 Procesamiento de laboratorio.....	14
6.4 Procesamiento histológico .....	14
7. RESULTADOS.....	15
CAPÍTULO 1 .....	15
Relación peso-longitud y factor de condición relativo de <i>Prionurus laticlavius</i> en el Golfo de California, México.....	15
CAPÍTULO 2 .....	24
Espectro morfocromático en la maduración gonádica del navajón barbero <i>Prionurus laticlavius</i> con validación histológica.....	24
CAPÍTULO 3 .....	40
Biología reproductiva de <i>Prionurus laticlavius</i> en la costa sudoccidental del Golfo de California, México.....	40
8. DISCUSIÓN INTEGRATIVA.....	61
9. CONCLUSIONES GENERALES.....	64
10. RECOMENDACIONES.....	66
11. LITERATURA CITADA.....	67

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Clasificación de la familia Acanthuridae en subfamilias y géneros. Las imágenes representan una especie de cada género. (Nelson et al., 2006).....	3
<b>Figura 2.</b> Clasificación de los géneros de la familia Acanthuridae basada en la espinación del pedúnculo caudal. ....	4
<b>Figura 3.</b> Tipos de dentición presentes en los peces acantúridos. Modificado de Tyler (1970). ....	4
<b>Figura 4.</b> Ejemplo de la ingesta de alimento de acuerdo con el tipo de dentición y morfología mandibular en acantúridos A) <i>Ctenochaetus striatus</i> B) <i>Acanthurus nigrofuscus</i> . *La flecha representa el límite de la mordida implicando la cantidad de alimento a ingerir. Modificado de Tebbett et al. (2017). ....	5
<b>Figura 5.</b> Variaciones en la coloración de algunas especies de acantúridos durante el evento reproductivo. Modificado de Robertson (1985). ....	7
<b>Figura 6.</b> Área de distribución de <i>Prionurus laticlavius</i> y las demás especies pertenecientes al género. Modificado de Ludt et al. (2015). ....	10
<b>Figura 7.</b> Adulto y juvenil de <i>Prionurus laticlavius</i> capturado en Cueva de León, BCS, México (Foto adulto: Fernando Aguilar; juvenil: John Snow).....	10
<b>Figura 8.</b> Ejemplares adultos de <i>Prionurus laticlavius</i> capturado en Cueva de León, BCS, México (Foto: Fernando Aguilar).....	10
<b>Figura 9.</b> Área de captura de <i>Prionurus laticlavius</i> .....	13
<b>Figura 10.</b> Método estándar realizado en <i>Prionurus laticlavius</i> para la tinción hematoxilina-eosina con secuencia de tiempos. (Modificado de Humason, 1979). ....	14

## RESULTADOS

### Capítulo 1

#### Relación peso-longitud y factor de condición relativo de *Prionurus laticlavius* en el Golfo de California, México

<b>Figura 1.</b> Tipos de crecimiento registrados en <i>Prionurus laticlavius</i> . A) General, B) Juvenil y C) Adultos (Isométrico, alométrico positivo y alométrico negativo, respectivamente).....	20
---	----

## Capítulo 2

### Espectro morfocromático en la maduración gonádica del navajón barbero *Prionurus laticlavus* con validación histológica

- Figura 1.** Separación entre la abertura urogenital y el ano de *Prionurus laticlavus*..... 27
- Figura 2.** Escala de maduración de los ovocitos de *Prionurus laticlavus* con valores del diámetro y grosor de pared folicular ( $\mu\text{m}$ ) en cada etapa de crecimiento ovocitario. Cn = cromatina nucleolar, Pn = perinucleolar, AC = alveolo cortical, VtgI= vitelogénesis primaria, VtgII = vitelogénesis secundaria, VtgIII = vitelogénesis terciaria, VGM = vesícula germinal en migración, H = ovocito hidratado, FPO = folículo post-ovulatorio. **D.O** diámetro de ovocitos, **P.F** = pared folicular. .... 28
- Figura 3.** Microfotografía del desarrollo gonádico de *Prionurus laticlavus* (Escala = 500  $\mu\text{m}$ ). A) hembra en fase de regeneración (Mm = melanomacrófagos, Ocp = ovocitos en crecimiento primario y B) macho en fase de regresión (Mm = melanomacrófagos, Eg = espermatogonia, L = lumen y Pt = pared testicular)..... 34

## Capítulo 3

### Biología reproductiva de *Prionurus laticlavus* en la costa sudoccidental del Golfo de California, México

- Figura 1.** Proporción sexual por tallas de *Prionurus laticlavus* en el Golfo de California, BCS, México. El asterisco (\*) significa diferencia significativa..... 46
- Figura 2.** Microfotografía de los componentes ováricos de *Prionurus laticlavus* en las distintas fases de desarrollo. A-C) inmaduro, D- F) desarrollo, G-I), capacidad de desove, J-L) regresión y M-O) regeneración. WO= pared ovárica, OL= lamela ovígera, GP= ovocitos en crecimiento primario, GE= epitelio germinal, ST= estroma, Lu= lumen, Cn= cromatina nucleolar, Pn= perinucleolar, CA= alveolo cortical, Vtg I= vitelogénesis primaria, Mm= melanomacrófagos, POF= folículo post-ovulatorio, Vtg II= vitelogénesis secundaria, Vtg III= vitelogénesis terciaria, VG= vesícula germinal, VGM= vesícula germinal en migración, Y= vitelo, FW= pared folicular, FC= células foliculares, Od= gotas lipídicas, At= atresia y Pm= paquetes musculares. .... 47
- Figura 3.** Microfotografía de los componentes testiculares de *Prionurus laticlavus* en las distintas fases de desarrollo. A-C) inmaduro, D- F) desarrollo, G-I), capacidad de desove, J-L) regresión y M- O) regeneración. TW= pared testicular, Sg= espermatogonia, Sc= espermatocito, Sc I= espermatocito primario, Sc II= espermatocito secundario, Sp= espermátida, Sz= espermatozoide GE= epitelio germinal, GEc= epitelio germinal continuo, GEd= epitelio germinal discontinuo EC= células epiteliales, Ct= cisto o cripta, Lu= lumen, Luc= lumen central, LCt= lumen de cisto, Sns= senos espermáticos, Qs= quiasmas, Mm= melanomacrófagos, EB= células sanguíneas, Szm=



espermatozoides residuales, PLu= prototipo de lumen, Szo= espermatozoides ocasionales y TCd= tejido conectivo desorganizado.....	49
<b>Figura 4.</b> Frecuencia de organismos por sexos y fases de desarrollo gonádico de <i>Prionurus laticlavus</i> en el Golfo de California, BCS, México. *Diferencia significativa.....	50
<b>Figura 5.</b> Ciclo reproductivo con distribución de frecuencias de las fases del desarrollo gonádico de <i>Prionurus laticlavus</i> en el Golfo de California, BCS, México. A) Hembras y B) Machos .....	51
<b>Figura 6.</b> Evolución mensual del IGS en hembras y machos de <i>Prionurus laticlavus</i> en el Golfo de California, BCS, México. Las barras indican el Error típico, triángulos: hembras, círculos: machos. ....	52
<b>Figura 7.</b> Evolución mensual del IHS en hembras y machos de <i>Prionurus laticlavus</i> en el Golfo de California, BCS, México. Las barras indican el Error típico, triángulos: hembras, círculos: machos. ....	53
<b>Figura 8.</b> Relación mensual entre el IGS y IHS por sexos en organismos de <i>Prionurus laticlavus</i> en el Golfo de California, BCS, México. A) Hembras, B) Machos. Las barras indican el Error típico. ...	54
<b>Figura 9.</b> Relación mensual entre el IGS, IHS y la TSM en organismos de <i>Prionurus laticlavus</i> en el Golfo de California, BCS, México. A) IGS, B) IHS. Las barras indican el Error típico. ....	55
<b>Figura 10.</b> Frecuencia de aparición de la grasa visceral en <i>Prionurus laticlavus</i> de la costa sudoccidental del Golfo de California, BCS, México.....	55
<b>Figura 11.</b> Proporción de grasa visceral registrada durante las fases de desarrollo gonádico de <i>Prionurus laticlavus</i> en la costa sudoccidental del Golfo de California, BCS, México.....	56
<b>Figura 12.</b> Talla de madurez sexual de <i>Prionurus laticlavus</i> en el Golfo de California, BCS, México. A) Poblacional, B) Machos.....	57

## LISTA DE TABLAS

### Capítulo 1

#### Relación peso-longitud y factor de condición relativo de *Prionurus laticlavius* en el Golfo de California, México

**Tabla 1.** Variables biométricas y valores del análisis de regresión de la relación peso-longitud, factor de condición relativo ( $K_{rel}$ ) e IGS de *Prionurus laticlavius* de la costa sudoccidental del Golfo de California.  $n$ = Número de organismos,  $\bar{x}$  = media,  $sd$ = desviación estándar,  $a$ , Intercepto,  $b$ , pendiente de regresión,  $R^2$ , coeficiente de determinación. \***Isometría, Alometría positiva**,..... 19

**Tabla 2.** Listado de especies de acantúridos que presentan crecimiento alométrico negativo ..... 21

### Capítulo 2

#### Espectro morfocromático en la maduración gonádica del navajón barbero *Prionurus laticlavius* con validación histológica

**Tabla 1.** Descripción macroscópica e histológica de la maduración gonádica de las hembras de *Prionurus laticlavius* (Escala = 500  $\mu$ m). **M** = macroscópica, **H** = histológica. Ocp = ovocitos en crecimiento primario, Cn = cromatina nucleolar, Oac = ovocitos en alveolo cortical, Vtg I = vitelogénesis primaria, Vtg II = vitelogénesis secundaria, Vtg III = vitelogénesis terciaria, VGM = migración de vesícula germinal, FPO = folículo post-ovulatorio, Mm = melanomacrófagos, Mp = paquetes musculares, At = atresias, OW = pared ovárica, OL = lamela ovígera..... 29

**Tabla 2.** Descripción macroscópica e histológica de la maduración gonádica de los machos de *Prionurus laticlavius* (Escala = 500  $\mu$ m). **M** = macroscópica, **H** = histológica. EG = epitelio germinal, Eg = espermatogonia, Sc I = espermatozocito primario, Sc II = espermatozocito secundario, Ep = espermátida, Ez = espermatozoide, Plu = prototipo de lumen, Mm = melanomacrófagos, Szr = espermatozoides residuales, Szo = espermatozoides ocasionales, Sns = senos espermáticos, Ct = cistos espermáticos..... 32

### Capítulo 3

#### Biología reproductiva de *Prionurus laticlavius* en la costa sudoccidental del Golfo de California, México

**Tabla 1.** Frecuencias mensuales de hembras y machos de *Prionurus laticlavius*. El asterisco (\*) significa diferencia significativa de la proporción 1:1 ( $P < 0.05$ )..... 45

**Tabla 2.** Tipos de dimorfismo sexual por talla presente en varias especies de acantúridos ..... 58

## GLOSARIO

**Alometría:** Utilizado en la estimación de la relación peso-longitud que declara que un pez crece de forma desproporcional tanto en longitud como en peso. Es negativa cuando este aumenta más en longitud que en peso ( $b < 3$ ) y positiva cuando aumenta en mayor proporción en peso ( $b > 3$ ) (Froese, 2006; Zar, 2010).

**Alveolo cortical:** Fase del crecimiento ovocitario caracterizada por la presencia de vesículas o alveolos en el citoplasma (Wallace & Selman, 1981).

**Aparato de Golgi:** Orgánulo membranoso compuesto por múltiples cisternas aplanadas que se ocupan de modificar, clasificar y envasar proteínas y lípidos para su transporte intracelular o extracelular (Ross & Pawlina, 2012).

**Atresia:** Estructura que resulta de la reabsorción de los ovocitos mediante un proceso degenerativo causado por agentes endógenos o exógenos (Nagahama, 1983).

**Biomasa:** Peso de un individuo o de un grupo de individuos contemporáneos de un stock (Cadima, 2003).

**Células de granulosa:** Células foliculares que han sufrido una estratificación, formando un epitelio estratificado que rodeará al ovocito (Ross & Pawlina, 2012).

**Células primordiales o germinales:** Células de origen extragonadal que migran desde el saco vitelino hacia la corteza de la gónada donde ocurrirá la diferenciación del ovario o testículo (Ross & Pawlina, 2012).

**Citoplasma:** Es la parte de la célula que se encuentra fuera del núcleo, conteniendo a los orgánulos e inclusiones dentro de un gel acuoso denominado matriz citoplásmica (Ross & Pawlina, 2012).

**Cohorte:** Un grupo de peces de un stock nacidos en la misma época de desove (Sparre & Venema, 1997; Cadima, 2003).

**Crecimiento primario:** Se refiere a la etapa inicial del ovocito, desde su formación a partir de las células germinales. Esta etapa comprende a las fases cromatina nucleolo y a la fase perinucleolar (Wallace & Selman, 1981).

**Desarrollo asincrónico:** Organismo que presenta un ovario con etapas no simultáneas de desarrollo en sus ovocitos (Murua & Saborido-Rey, 2003).

**Desovador sincrónico:** Organismo en el cual se encuentran generalmente dos poblaciones o cohortes de ovocitos en desarrollo y son desovados subsecuentemente durante cada temporada de desove (Tyler & Sumpter, 1996).

**Desove:** Liberación de gametos masculinos y femeninos (Lagler et al., 1984).

**Epitelio:** Células contiguas que presentan poca cantidad de matriz intercelular, siendo un tejido que usualmente recubre superficies o cavidades, formando una parte esencial de una glándula (Paniagua et al., 2007).

**Espermátida:** Células haploides obtenidas mediante dos divisiones meióticas por parte de los espermatoцитos, con reducción de la cantidad de cromosomas y el contenido de DNA. Estas células espermatoгogénicas se encuentran adheridas a la porción apical de las células de Sertoli en contacto con la luz del túbulo que fueron (Ross & Pawlina, 2012).

**Espermatoцитo:** Células formadas a partir de la división mitótica de las espermatoгogonias (Ross & Pawlina, 2012).

**Espermatoгogénesis:** Proceso biológico encargado de la producción de gametos masculinos mediante espermatoгogonias (Ross & Pawlina, 2012).

**Espermatoгogonia:** Células espermatoгogénicas inmaduras apoyadas sobre la lámina basal (Ross & Pawlina, 2012).

**Folículo postovulatorio:** Membranas externas que rodean al ovocito y permanecen como residuo después de que el ovocito ha sido liberado (Houillon, 1978).

**Gónada:** Órganos sexuales primarios en los cuales se producen las células germinales (Webster & Webster, 1974).

**Inclusión lipídica:** Cuerpo de lípidos originado durante el crecimiento secundario del ovocito, derivado de la vitelogenina y que posteriormente forma la gota de lípido en algunas especies de teleósteos con huevos pelágicos (Tyler & Sumpter, 1996).

**Índice Gonadosomático (IGS):** Índice empleado para la estimación de la condición reproductiva de los organismos, mediante la relación del peso de la gónada y el peso viscerado expresado en porcentaje (Sánchez-Cárdenas et al., 2011)

**Índice de Grasa Visceral (IGv):** Índice indirecto empleado para la estimación en el aporte energético de la grasa a la gónada, mediante la fusión de los vasos sanguíneos que presentan (Fishelson, 2007).

**Índice Hepatosomático (IHS):** Índice indirecto que permite cuantificar los cambios cíclicos en el peso del hígado mediante su peso en proporción al peso corporal expresado en porcentaje (Saderkarparwar & Parikh, 2013).

**Isometría:** Utilizado en la estimación de la relación peso-longitud, crecimiento de un pez de forma proporcional del peso con relación al volumen e igual al cubo de la longitud, representado como  $b=3$ , donde  $b$  es el coeficiente de isometría (Froese, 2006; Zar, 2010).

**Lámelas ovígeras:** Prolongaciones de la túnica albugínea hacia el interior del ovario, en cuyo interior se encuentran ovocitos (Houillon, 1978).

**Lámina basal:** Matriz extracelular ubicada por debajo de las células epiteliales que origina una capa delgada y continua de estructura filamentosa, también conocida como membrana basal (Sepúlveda-Saavedra, 2014).

**Longitud de primera madurez:** Relación utilizada para la estimación de la talla de madurez sexual poblacional, que consiste en determinar la longitud en la que el 50% de los organismos alcanzaron la madurez sexual (Fontoura et al., 2009).

**Lumen:** En los cortes histológicos, el espacio iluminado que se encuentra entre las estructuras o células que se presentan, siendo una invaginación rodeada de epitelio germinal.

**Macrófagos:** Células fagocíticas derivadas de monocitos (células sanguíneas) (Ross & Pawlina, 2012).

**Melanomacrófago:** Es un conjunto de células pigmentarias y macrófagos con diferentes funciones fisiológicas en los organismos, pero principalmente como vertederos metabólicos (Agius & Roberts, 2003).

**Morfocromatismo gonádico:** Todas aquellas variaciones que presenta la gónada tales como: la coloración, el tamaño, la apariencia y la turgencia presentes en una misma fase de desarrollo gonádico.

**Ovocito hidratado:** Fase final en el crecimiento de los ovocitos, donde estos alcanzan su tamaño máximo debido a la absorción de agua, siendo esta fase un inminente indicador del desove de los organismos (Wallace & Selman, 1981)

**Ovocito:** Célula sexual femenina en fase de crecimiento y que experimenta la meiosis (Lender et al., 1982).

**Ovogénesis:** Proceso biológico encargado de la producción de gametos femeninos mediante ovogonias (Curtis et al. 2001; Helfman *et al.*, 2009; Ross & Pawlina, 2012)

**Ovogonia:** Célula germinal primaria, situada en el epitelio germinal del ovario que da origen a los ovocitos (Tyler & Sumpter, 1996).

**Ovulación:** Proceso llevado a cabo a través de hormonas que consiste en la liberación del ovocito maduro (Ross & Pawlina, 2012).

**Perinucleolar:** Referido al estado nucleolar en donde los nucleolos se encuentran situados a la periferia del núcleo (Tyler & Sumpter, 1996).

**Proteólisis:** Degradación de proteínas mediante enzimas específicas o por degradación intracelular, que provoca la hidratación de los ovocitos (Carnevali et al., 2001, 2006).

**Quiasma:** Rompimiento de los cistos que dirige a los espermatozoides hacia los senos espermáticos, siendo una señal del inminente desove en los machos (Brown-Peterson et al., 2011).

**Retículo Endoplásmico Rugoso (RER):** Región del retículo endoplasmático asociada con los ribosomas. Es el sitio donde ocurre la síntesis proteica y la modificación de las proteínas neosintetizadas (Ross & Pawlina, 2012).

**Stock:** Conjunto de supervivientes de las cohortes de un recurso pesquero, en un cierto instante o período de tiempo. Puede referirse a la biomasa o al número de individuos (Cadima, 2003).

**Tejido conjuntivo o conectivo:** Cúmulo o grupo de células poco especializadas de abundante matriz extracelular que subyacen a otros tejidos básicos, tanto en estructura como en funciones (Ross & Pawlina, 2012).

**Túnica albugínea:** Cápsula de tejido conectivo y músculo liso que recubre al ovario y desempeña la función de protección (McMillan, 2007)

**Vesícula germinal:** La vesícula germinal es el nombre que recibe el núcleo, debido a la apariencia acuosa y el gran tamaño durante las últimas etapas de crecimiento del ovocito (Byskov et al., 2002).

**Vitelo:** Conjunto de sustancias almacenadas en el interior de un huevo para la nutrición del embrión. Material nutritivo en forma de gránulos, presente en el citoplasma de un óvulo (Wallace & Selman, 1981).

**Vitelogénesis:** Fase del ciclo reproductivo de las especies caracterizada por la aparición de gotas o glóbulos llenos de vitelo (Wallace & Selman, 1981).

**Zona radiata - Zona pelúcida:** Membrana del ovocito de apariencia estriada, compuesta de una capa interna y otra externa y que se forma cuando las primeras inclusiones lipídicas aparecen en el ovocito (Matsuyama et al., 1991).

## RESUMEN

El cirujano o navajón barbero *Prionurus laticlavus* (Valenciennes, 1846), es una de las especies de peces más representativas y dominantes del Golfo de California, catalogada en la Lista Roja de Especies Amenazadas bajo la categoría “Menor Preocupación”. Tiene un importante rol ecológico en los arrecifes rocosos de la región y un interés pesquero ornamental. Sin embargo, son pocos los estudios que describen aspectos de su biología básica. El presente trabajo constituye la primera investigación sobre los parámetros de la relación peso-longitud y la biología reproductiva de *P. laticlavus* en el Golfo de California, la cual aporta información útil para su manejo pesquero. Los resultados se presentan en forma de tres capítulos independientes, que en conjunto dan un panorama del estado de salud y de algunos aspectos de su biología reproductiva. En el capítulo 1 se evaluó el tipo de crecimiento y su condición relativa ( $K_{rel}$ ), tanto en juveniles como en adultos, así como por temporada climática. El crecimiento de *P. laticlavus* fue isométrico ( $b=3$ ); sin embargo, el análisis de juveniles y adultos por separado mostró que los juveniles tienen un crecimiento alométrico positivo ( $b>3$ ), mientras que los adultos alométrico negativo ( $b<3$ ). La condición relativa de *P. laticlavus* fue alta, con valores de  $K_{rel}>1$ . También se evidenció que esta especie almacena energía antes y durante la gametogénesis, que al parecer es usada en la última etapa de su ciclo reproductivo. En el capítulo 2 se estableció una escala morfocromática de la maduración gonádica con validación histológica, como herramienta biológica útil para ayudar a entender la estrategia reproductiva de la especie, y como una clave de identificación visual para determinar el estado de madurez de los organismos. Además, se estableció una escala de crecimiento ovocitario con la implementación del grosor de la pared folicular en cada etapa de los ovocitos. Finalmente, en el capítulo 3 se analizaron algunos aspectos reproductivos mediante el estudio histológico de sus gónadas, tales como la proporción de sexos, el ciclo reproductivo y la talla de madurez sexual. La histoarquitectura gonádica confirmó que *P. laticlavus* es gonocórica y que se reproduce en verano. La talla de madurez sexual poblacional de esta especie es alcanzada a los 20.7 cm de longitud total.

**Palabras clave:** Tipo de crecimiento, biología reproductiva, navajón barbero, Golfo de California

## ABSTRACT

*Prionurus laticlavus* (Valenciennes, 1846) or Razor Surgeonfish, is one of the most dominant and representative species of the Gulf of California, catalogued in the IUCN under the category “Least Concern”. It has an important ecological role in rocky reefs of the region, as well as an ornamental fishery interest. However, despite its importance, few studies describe aspects of its basic biology. The present study constitutes the first investigation regarding the parameters of length-weight relationship and reproductive biology of *P. laticlavus* in the Gulf of California, which provides important information for fisheries management. The results are presented by independent chapters, which together give a picture of the health status and some aspects of its reproductive biology. Chapter 1 evaluated the type of growth and relative condition factor (Krel), for juveniles and adults, as well as for seasons. *P. laticlavus*, presented an isometric growth ( $b=3$ ), however, the separated analysis showed that juveniles had positive allometric growth ( $b>3$ ), whereas adults negative allometric growth ( $b<3$ ). The relative condition factor of *P. laticlavus* was high, with values of  $Krel>1$ . Additionally, this result exhibit that this specie can store energy before and after gametogenesis, which might be used in the last phase of its reproductive cycle. In chapter 2, a morphochromatic scale of gonads maturation with histological validation was established, as a biological tool, to understand the reproductive strategy of the specie, and as a visual identification key, to determine the stage of maturity of the organisms. Moreover, an oocyte growth scale was established, by the implementation of the thickness of the follicular wall at each stage of the oocytes. Lastly, in chapter 3 some reproductive aspects such as sex proportion, reproductive cycle, and size at first maturity, were determined through histological analysis of the gonads. The gonadic histoarchitecture confirmed that *P. laticlavus* is a gonochoric species that reproduce in the summer, and it reaches its size at fist maturity at 20.7 cm of total length.

**Key words:** Growth type, reproductive biology, Razor Surgeonfish, Gulf of California



## 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Los peces han desarrollado grandes adaptaciones anatómicas, fisiológicas, conductuales y ecológicas, que les han permitido habitar en prácticamente todos los hábitats acuáticos del mundo, desde pantanos anóxicos hasta entornos de gran altitud y latitud (Bone & Moore, 2009; Helfman et al., 2009). Conocer la relación entre forma y función, hábitat y adaptación (Helfman et al., 2009) provee información esencial para el entendimiento de sus procesos biológicos, debido a que la gran diversidad que presentan es un reflejo de la extensa variedad de hábitos reproductivos y estrategias de vida que desarrollan (Allen & Robertson, 1994).

La descripción de aspectos como el tipo de crecimiento y la reproducción permiten la construcción de modelos de dinámica poblacional (Morales-Nin, 1991) y la determinación de un estado de madurez sexual como referencia biológica, evaluada mediante un estudio reproductivo (Lowerre-Barbieri, 2009) respectivamente. Asimismo, los parámetros poblacionales favorecen al entendimiento de los posibles cambios morfológicos originados durante el crecimiento de las especies, mientras que conocer las regularidades que rigen el ciclo reproductivo permite establecer un mejor manejo del recurso (Arellano-Martínez et al., 2001; Costa & Araujo, 2003; González-Álvarez, 2013).

*Prionurus laticlavus* (Valenciennes, 1846) también llamado cirujano o navajón barbero, es una especie que pertenece a la familia Acanthuridae, y es una de las más representativas y dominantes del Golfo de California (GC) (Aburto-Oropeza & Balart, 2001). *P. laticlavus* se encuentra incluida en la Lista Roja de Especies Amenazadas bajo la categoría “preocupación menor” (Abesamis et al., 2012). Se distribuye a lo largo del Pacífico Oriental tropical (POT), desde el norte del Golfo de California hasta Ecuador, incluidas las islas de Revillagigedo y las Galápagos (Robertson y Allen, 2016; Ludt et al., 2019). Su importancia ecológica radica en la regulación energética de las comunidades arrecifales (Montgomery et al., 1980). Además, tiene una alta demanda en la industria del acuarismo (Piña-Espallargas, 2005). A pesar de lo anterior, esta especie no ha sido reconocida como un “recurso pesquero” y no cuenta con ninguna regulación en cuanto a su consumo

y comercialización. Pese a la importancia ecológica y pesquera de *P. laticlavus*, son pocos los estudios que aportan información sobre su biología básica, lo que hace difícil proponer normas de regulación, así como su incorporación en la Carta Nacional Pesquera.

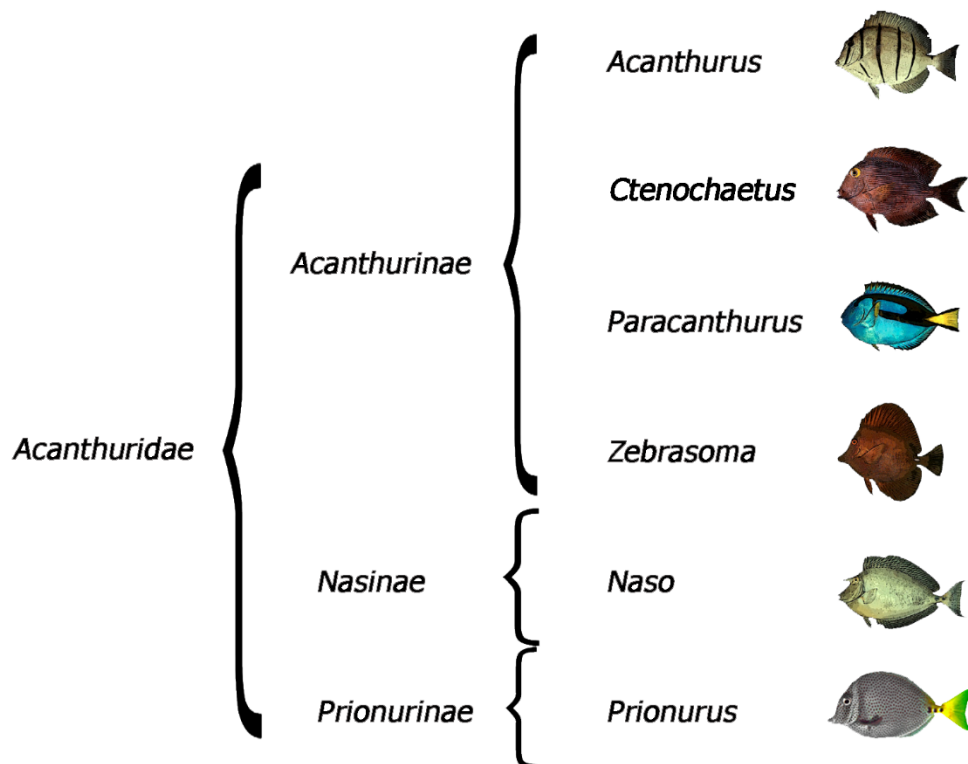
Entre los aspectos biológicos estudiados de *P. laticlavus* se encuentran investigaciones sobre su alimentación (Montgomery et al., 1980; Moreno-Sánchez et al., 2014), tasa de reclutamiento (Trujillo-Millán, 2003, 2009) y dominancia en los arrecifes (Aburto-Oropeza & Balart, 2001), su distribución y biogeografía (Ludt et al., 2015) y recientemente la invalidez de la especie *P. punctatus*, reconocida como un sinónimo de *P. laticlavus* (Ludt et al., 2019).

El conocimiento de los parámetros de crecimiento y aspectos reproductivos de los peces explotados, contribuyen con información básica e indispensable para generar medidas de conservación, manejo y administración sustentable del recurso (Murua et al., 2003; Reñones et al., 2010). En consideración a lo anterior, este trabajo evaluó el tipo de crecimiento, tanto en juveniles como en adultos, la salud general a través del índice de condición relativa ( $K_{rel}$ ), así como algunos aspectos reproductivos, tales como ciclo reproductivo, proporción de sexos y talla de primera madurez de *P. laticlavus* de la costa sudoccidental del Golfo de California, México. Además del establecimiento de una escala morfocromática de su madurez gonádica, la cual fue validada con métodos histológicos y propuesta como una guía de fácil aplicación para la identificación visual de la madurez sexual de la especie.

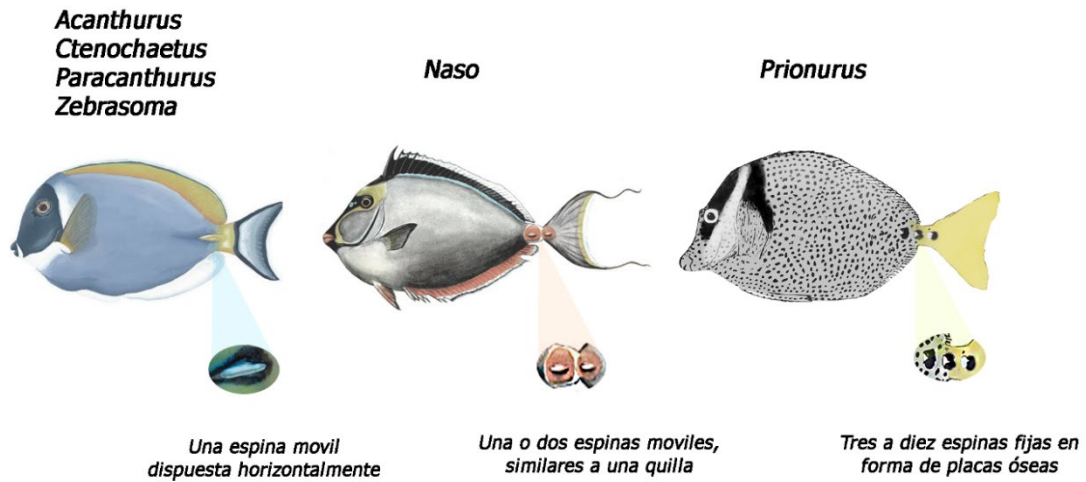
## 2. ANTECEDENTES GENERALES

### 2.1 Generalidades de la familia Acanthuridae

La familia Acanthuridae agrupa peces conocidos como cirujanos o navajones, se compone de especies características y abundantes en los arrecifes tropicales y subtropicales alrededor del mundo, excepto en el Mediterráneo (Sorenson et al., 2013; Nelson et al., 2016). Actualmente, la familia cuenta con 85 especies reconocidas, divididas en tres subfamilias y seis géneros (Figura 1). Esta clasificación toma en cuenta tres características: 1) placas óseas en forma de navajas o espinas presentes en el pedúnculo caudal, 2) el número de estas, y 3) si son móviles o fijas (Randall, 1995; Nelson et al., 2016; Fricke et al. 2020) (Figura 2). Estas estructuras son empleadas como mecanismo de defensa o comportamiento agresivo intra o interespecífico (Randall, 1995).

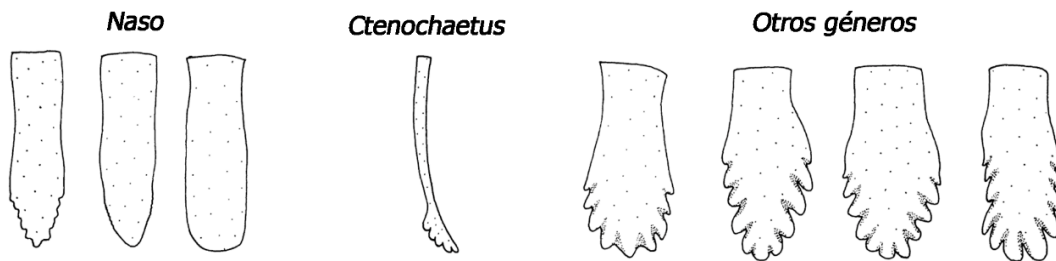


**Figura 1.** Clasificación de la familia Acanthuridae en subfamilias y géneros. Las imágenes representan una especie de cada género (Nelson et al., 2006), imágenes: Sorenson et al. (2013) y Fernando Aguilar

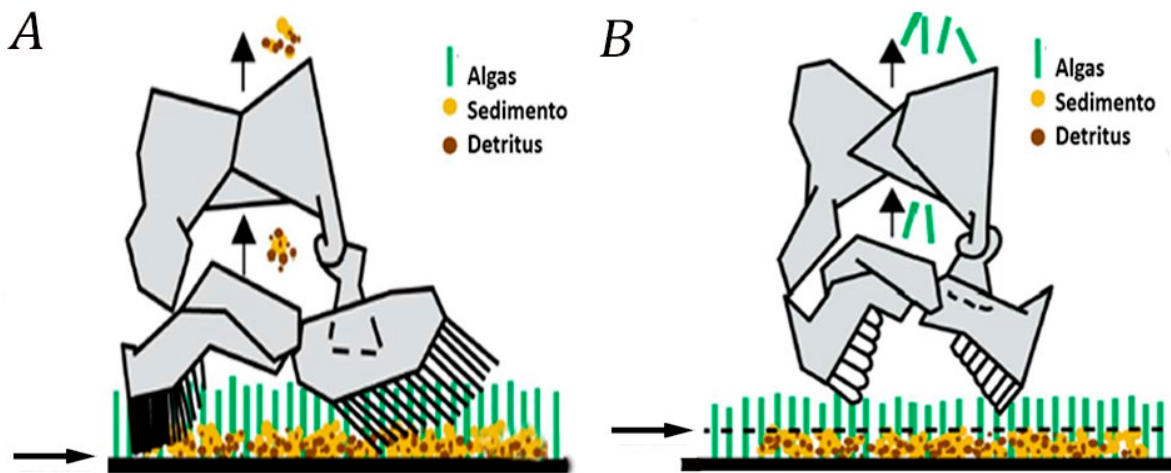


**Figura 2.** Clasificación de los géneros de la familia Acanthuridae basada en la espinación del pedúnculo caudal. (Ilustraciones: Paulailustra, Rena Ekmanis y Fernando Aguilar, Esquema: Fernando Aguilar).

Estos organismos son considerados en su mayoría como especies herbívoras. De acuerdo con la relación dieta-especie, su dentición puede ser muy variable (Tyler, 1970). Sin embargo, la mayoría presenta dientes aplanados o espatulados (Guiasu y Winterbottom, 1993; Sorenson et al., 2013; Nelson et al., 2016) (Figura 3). La dieta de estos organismos exhibe una amplia variedad de alimentos, desde pequeños animales planctónicos, algas bénticas filamentosas y detritus, cada uno asociado a un tipo de dentición (Choat y Axe, 1996; Sorenson et al., 2013) (Figura 4).



**Figura 3.** Tipos de dentición presentes en los peces acantúridos. Modificado de Tyler (1970).



**Figura 4.** Ejemplo de la ingesta de alimento de acuerdo con el tipo de dentición y morfología mandibular en acantúridos A) *Ctenochaetus striatus* B) *Acanthurus nigrofuscus*. \*La flecha representa el límite de la mordida implicando la cantidad de alimento a ingerir. Modificado de Tebbett et al. (2017).

## 2.2 Aspectos de crecimiento en la familia

Existen herramientas de fácil aplicación para conocer el tipo de crecimiento en los peces, tal como la relación peso-longitud (RPL), la cual ha sido ampliamente utilizada en la evaluación de las pesquerías y estudios ecológicos (Froese, 2006). Esta relación ha sido utilizada mayormente en etapas adultas o en tallas comercialmente importantes (Bouchon-Navarro et al., 2006), sin embargo, ecológicamente su estimación no debería limitarse a la utilización de una sola etapa ontogénica, debido a la existencia de diferentes patrones de crecimiento durante el desarrollo de éstas (Nika, 2012). Una correcta evaluación del crecimiento implicaría el análisis independiente de los tipos de crecimiento registrados en la especie, para evitar errores de estimación por las diferencias existentes en cada etapa ontogénica (Froese, 2006).

En acantúridos, el crecimiento se encuentra altamente particionado, éste es acelerado en las etapas tempranas; presenta diversas clases de edad en rangos de talla estrechos y una elevada longevidad de los organismos, lo que implica grandes consecuencias demográficas en función con la edad (Choat & Axe, 1996). Sin

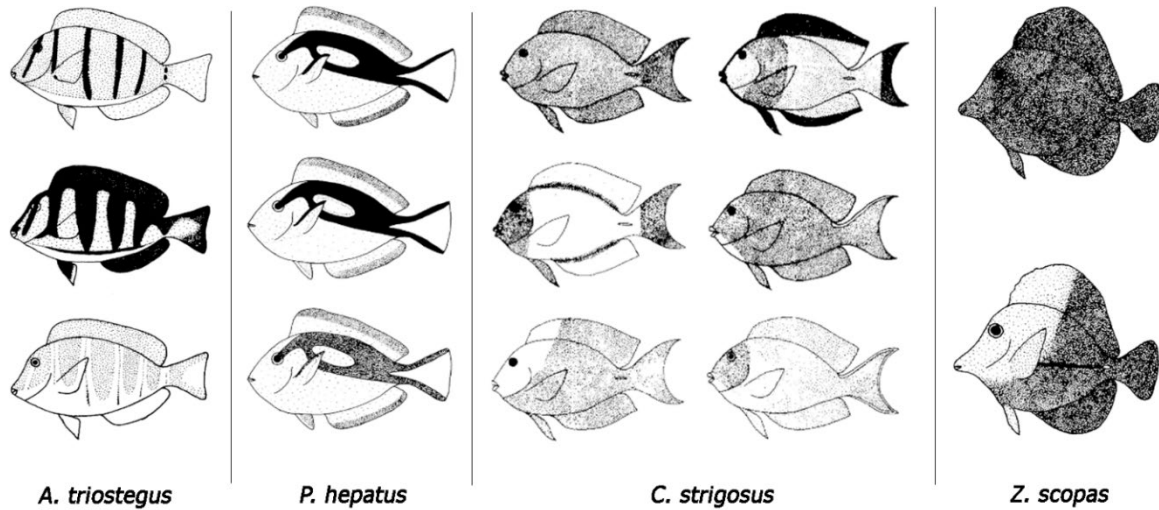
embargo, la talla suele ser más importante que la edad por sus implicaciones en la dinámica poblacional y en las pesquerías (Oliveira et al., 2014). Por ello, conocer todos los puntos de inflexión o “estancias de crecimiento” (Froese, 2006; Renán et al., 2014) que ocurren durante el ciclo de vida, principalmente en juveniles y organismos que han alcanzado la madurez sexual (Renán et al., 2014), representa una estrategia que contribuye al manejo de las pesquerías (Choat & Axe, 1996), con las herramientas para una correcta estimación del tipo de crecimiento (Froese, 2006).

Entre las investigaciones que han abordado la RPL en acantúridos, autores como Froese (1998) Gumanao et al. (2016) y Peyton et al. (2016) han encontrado crecimiento alométrico positivo, mientras que Choat & Axe (1996) reportaron una predominancia de alometría negativa en diez especies.

### **2.3 Aspectos reproductivos de la familia**

Los peces cirujanos son especies gonocóricas, formadoras de grupos reproductivos (Nelson et al., 2016), con distintas estrategias sexuales, entre las que destacan la formación de grandes agregaciones reproductivas, migraciones hacia sitios “tradicionales”, territorialismo, formación de harenes e incluso desoves en zonas de alimentación (Randall, 1961; Fishelson et al., 1987; Craig, 1998; Sancho, 1998; Luiz et al., 2010).

El dimorfismo sexual de algunas especies de acantúridos puede atribuirse a la presencia temporal o permanente de un dicromatismo (Saurabh et al., 2013). Esto se ha observado en todos los géneros a excepción de *Prionurus* (Figura 5). El dimorfismo puede expresarse en la apariencia, las tallas máximas o las tasas de crecimiento (Robertson, 1985; Randall, 2001; Taylor et al., 2014; DeMartini, 2016), tal como ha sido reportado en *Z. flavescens* (Claisse et al., 2009), donde los machos son más grandes que las hembras, presentando un dimorfismo tipo macroandria.



**Figura 5.** Variaciones en la coloración de algunas especies de acantúridos durante el evento reproductivo. Modificado de Robertson (1985).

Por otra parte, Fishelson et al. (1985) encontraron que la presencia de paquetes de grasa en la cavidad celómica en nueve especies de cirujanos (*Acanthurus nigrofuscus*, *A. sohal*, *A. triostegus*, *A. xanthopterus*, *A. glaucoparietus*, *Ctenochaetus striatus*, *Zebrasoma xanthurum*, *Z. veliferum* y *P. laticlavus*) puede brindar algún tipo de energía a la gónada durante la temporada reproductiva, debido a que estos cuerpos grasos contienen vasos sanguíneos que eventualmente se fusionarán con el sistema sanguíneo de la gónada.

El uso de técnicas histológicas es uno de los métodos más precisos para el análisis de los procesos reproductivos, debido a que proveen información directa sobre el estado de maduración ovárica y testicular a partir de la evaluación estructural microscópica de la gónada (Selman et al., 1993; Coward & Bromage, 1998; Kritzer, 2004). Entre los trabajos que incorporan estas técnicas en acantúridos se encuentran el de Fishelson et al. (1987) sobre *A. nigrofuscus*, quienes dividieron el ciclo gonádico de la especie en tres temporadas: octubre-diciembre (invierno), cuando la gónada se regenera de eventos reproductivos previos; enero-abril (primavera) cuando ocurre la reactivación gametogénica; mayo-septiembre (verano), se da la sincronización entre adultos para la reproducción. Por su parte, Bushnell (2007) evaluó la maduración de los ovocitos en *Z. flavescens*, así como el

tiempo que dura la degeneración de los folículos post-ovulatorios (FPO) dentro el ovario, y concluyó que el desarrollo de los ovocitos es asincrónico, por la presencia simultánea de células en diferentes fases de desarrollo, además de que la degeneración de los FPO ocurre en un periodo de 48 horas, con una completa reabsorción de las células foliculares, estructuras y moléculas asociadas entre las 36-42 horas después de la ovulación. Adicionalmente, Bushnell (2010) evidenció en *Z. flavescens* que la fecundidad y el tamaño corporal no siempre se correlacionan positivamente, a diferencia de muchos perciformes.

Langston et al. (2009) determinaron que *Ctenochaetus strigosus* presenta desoves parciales discretos en grupos durante una temporada reproductiva prolongada, datos similares a lo reportado por Longenecker et al. (2008) para *C. strigosus*, agregando que la proporción sexual en esta especie no varía significativamente de la teórica 1:1. No obstante, Eble et al. (2009) indicaron que *Naso unicornis* presenta un desarrollo de ovocitos por grupos sincrónicos, típico de observar en especies con múltiples desoves a lo largo del año.

#### **2.4 Estudios en *Prionurus laticlavus***

Entre los trabajos que han abordado aspectos de *P. laticlavus* Montgomery et al. (1980) evaluaron el efecto de la herbivoría dentro del Golfo de California, obteniendo que esta especie presenta un importante rol ecológico debido al ramoneo que realiza, lo mismo que fue confirmado por Moreno-Sánchez et al. (2014) en su estudio sobre la dieta de *P. laticlavus*. Por su parte, Grim (1985) registró un ciliado endosimbionte en el intestino de este organismo, el cual resultó ser una nueva especie.

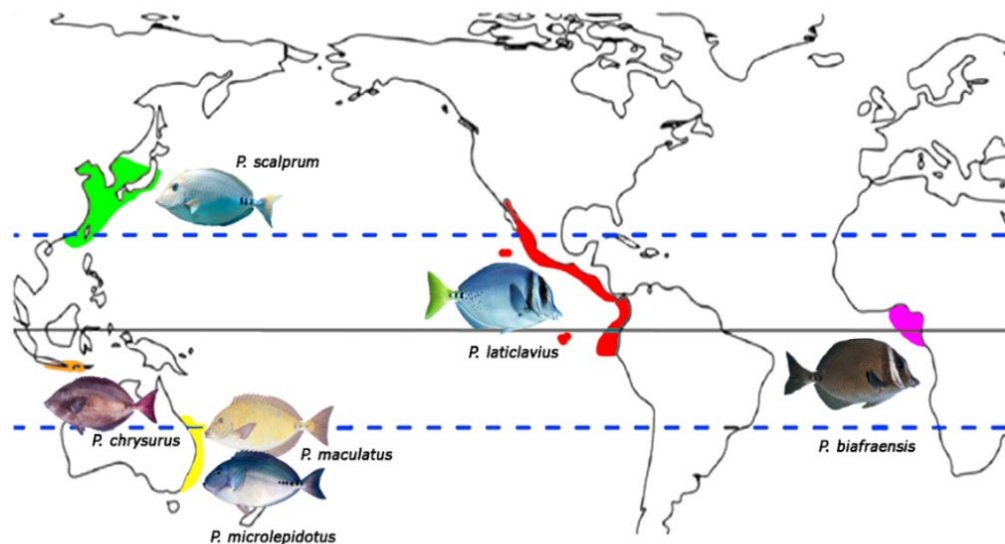
Trujillo-Millán (2003, 2009), en sus estudios sobre el reclutamiento de peces en los arrecifes rocosos del suroeste del Golfo de California, determinó que *P. laticlavus* presenta desove pelágico sin cuidado parental, y que su fase larval tiene una duración de 50 días, con un crecimiento promedio de 0.35 mm/d y una LT= 17.5 mm. Los juveniles se asientan a partir del día 51 y siguen creciendo unos 0.88 mm/d, después el crecimiento empieza a ser negativo con valores en promedio de 0.79 mm/d hasta los 200 días.



Como respuesta a la relación incierta entre *P. punctatus* y *P. laticlavus*, la utilización de técnicas moleculares, ecológicas y morfológicas en conjunto, demostraron que existe un completo traslape morfométrico y merístico entre estas dos especies, además de una diferenciación genética baja ( $F_{ST} = 0.013$ ), lo cual indica que *Prionurus punctatus* Gill, 1862 es taxonómicamente un sinónimo subjetivo menor de *P. laticlavus* (Ludt et al., 2019).

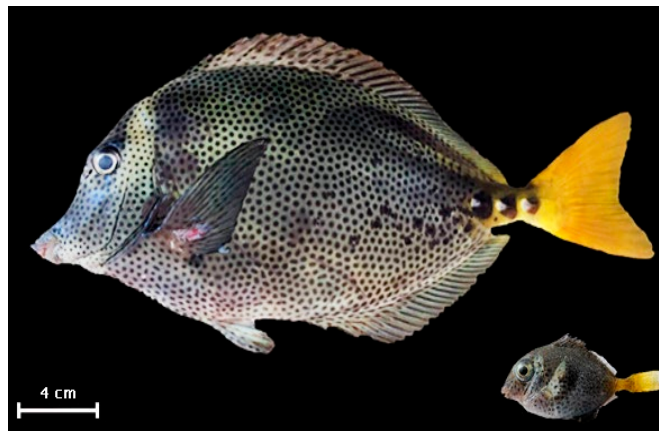
## 2.5 Características de *Prionurus laticlavus*

La especie se encuentra incluida en la Lista Roja de Especies Amenazadas bajo la categoría “Menor Preocupación” (Abesamis et al., 2012). Es de hábitos diurnos y forma cardúmenes, además de ser de las especies con mayor importancia ecológica por su rol en la regulación energética de las comunidades arrecifales (Montgomery et al., 1980). *Prionurus laticlavus*, comúnmente conocido como cirujano o navajón barbero, es una especie con distribución a lo largo del Pacífico Oriental tropical (POT), desde el norte del Golfo de California hasta Ecuador, incluidas las islas de Revillagigedo y raramente las Galápagos (Robertson y Allen, 2016; Ludt et al., 2019) (Figura 6).



**Figura 6.** Área de distribución de *Prionurus laticlavus* y las demás especies pertenecientes al género. Modificado de Ludt et al. (2015).

El navajón barbero presenta un cuerpo tipo oval y comprimido con una boca pequeña y protrusible, dientes moderadamente largos y aplanados y tres placas óseas fijas en el pedúnculo caudal. La coloración es grisácea, puede mostrar numerosos puntos negros que cubren la cabeza y el cuerpo; aleta caudal amarilla y dos barras oscuras separadas por una barra blanca en la cabeza entre el ojo y el opérculo (Robertson y Allen, 2016). Los juveniles pueden ser de coloración similar a la de los adultos o simplemente amarillos (Thomson et al., 2000) (Figura 7). Con relación al dimorfismo sexual, no existe reporte hasta la fecha (Figura 8).



**Figura 7.** Adulto y juvenil de *Prionurus laticlavus* capturado en Cueva de León, BCS, México (Foto adulto: Fernando Aguilar; juvenil: John Snow).



**Figura 8.** Ejemplares adultos de *Prionurus laticlavus* capturados en Cueva de León, BCS, México (Foto: Fernando Aguilar).

### 3. JUSTIFICACIÓN

La contribución al conocimiento de las especies marinas es una herramienta que permite mejoras en la conservación y gestión de los recursos marinos. Sin embargo, existen especies de las cuales no se tiene la suficiente información para su adecuada conservación. Por lo tanto, cualquier tipo de explotación sobre ellas podría poner en riesgo al recurso. Un ejemplo de ello es el navajón barbero *Prionurus laticlavus*, el cual es uno de los herbívoros más eficientes en los arrecifes del Golfo de California con una alta demanda para exhibición en acuarios (Piña-Espallargas, 2005); un consumo local con costos de \$ 25.00 kg en zonas de descarga y playa (Ulloa-Ramírez et al., 2008), y con ventas en algunos restaurantes del Pacífico como cochito (*Balistes polylepis*).

Pese a la importancia ecológica y comercial que presenta este organismo, el conocimiento generado acerca de su biología es muy limitado. Hay aspectos de su biología básica, tales como el tipo de crecimiento y la reproducción, que son desconocidos, a pesar de ser necesarios para entender su dinámica y estructura poblacional. Esta información también permitirá contribuir a la conservación, protección y aprovechamiento de los recursos.

#### 4. OBJETIVO GENERAL

Determinar el tipo de crecimiento y los parámetros de la biología reproductiva del navajón barbero *Prionurus laticlavus* en la población de la costa sudoccidental del Golfo de California

#### 5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.- Relación peso-longitud y factor de condición relativo de *Prionurus laticlavus* en el Golfo de California, México

- Conocer el tipo de crecimiento que presenta *P. laticlavus* en las etapas juvenil/adulto y durante la temporada cálida/fría
- Estimar el factor de condición relativo y conocer su relación con el índice gonadosomático

2.- Espectro morfocromático en la maduración gonádica del navajón barbero *Prionurus laticlavus* con validación histológica

- Describir la histoarquitectura gonádica de *P. laticlavus*
- Establecer una escala de maduración gonádica y ovocitaria

3.- Biología reproductiva de *Prionurus laticlavus* en la costa sudoccidental del Golfo de California, México

- Estimar la proporción sexual
- Describir el desarrollo gonádico
- Establecer la temporada reproductiva y su relación con el ambiente
- Estimar la talla de madurez sexual poblacional

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Área de estudio

El estudio fue realizado en tres localidades de la costa sudoccidental del Golfo de California: Barco Hundido (24°06'N, 109°83'W), Cueva de León (24°02'N, 109°49'W) y Ensenada de Muertos (23°59'N, 109°49'W) (Figura 9). El área está compuesta principalmente por playas arenosas y arrecifes rocosos bien constituidos, con fondos cubiertos de pequeñas piedras y algunas zonas con pendientes no tan pronunciadas (Cálapiz-Segura, 2004; Hernández-Olalde, 2008). Es una zona importante para las actividades pesqueras (Martínez-Ravelo, 2001) con asociaciones de invertebrados y peces de arrecife (Hernández-Olalde, 2008; Álvarez-López, 2017).

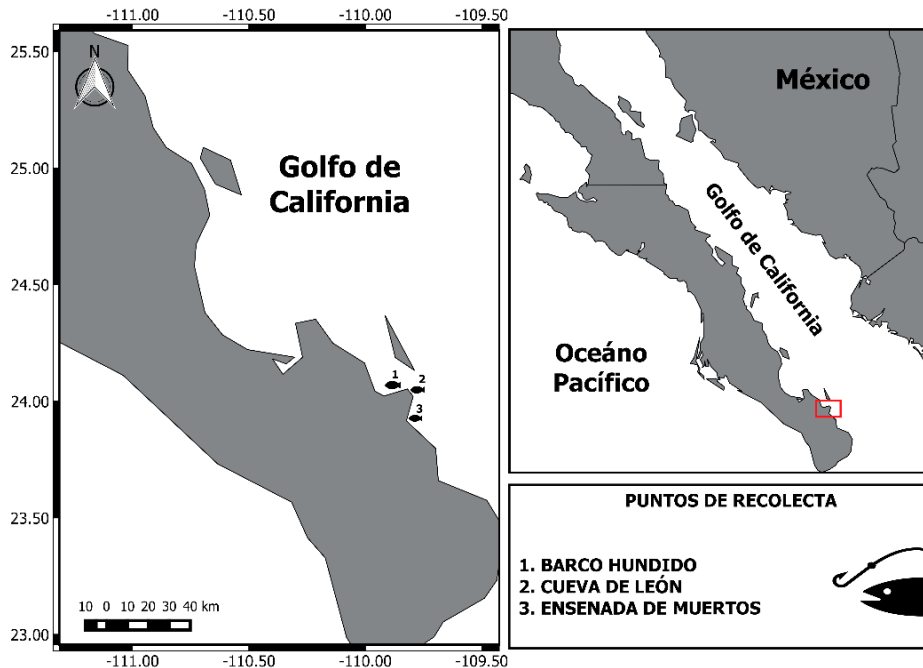


Figura 9. Área de captura de *Prionurus laticlavus*.

### 6.2 Captura de organismos

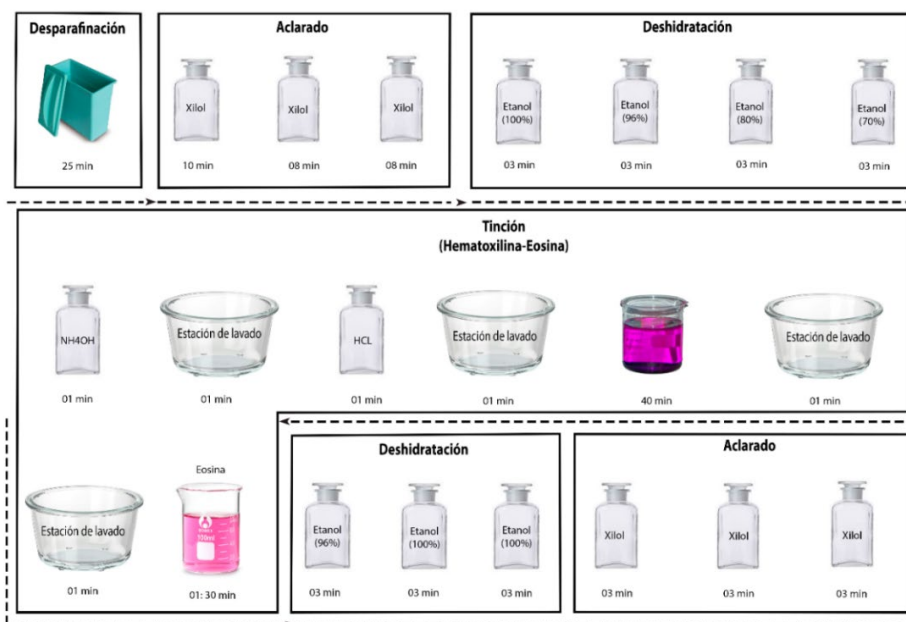
Los organismos fueron recolectados entre las 08:00 y 12:00 horas mediante buceo libre, usando un arpón para los peces medianos y grandes, y redes de mano para los pequeños. Se obtuvieron entre 5 y 25 organismos mensuales de agosto de 2018 a julio de 2019.

### 6.3 Procesamiento de laboratorio

Los datos biométricos de cada organismo fueron obtenidos midiendo la longitud total (LT,  $\pm 0.5$  cm de precisión) mediante una cinta métrica y el peso total (PT) con ayuda de una balanza analítica electrónica ( $PT \pm 1g$  de precisión). Posteriormente, de cada organismo se realizó la extracción de la gónada, se registró su peso (g), se obtuvo una porción de la parte media y se conservó en formol al 10% por al menos 10 días para su posterior procesamiento histológico.

### 6.4 Procesamiento histológico

Cada porción de gónada fue deshidratada en una serie ascendente de etanol, aclaradas en Neo-Clear<sup>®</sup>, y luego sometidas a infiltración e inclusión en parafina Paraplast<sup>®</sup>. Los cortes se realizaron a  $5 \mu m$  y se tiñeron mediante la técnica hematoxilina-eosina (Humason, 1979) con el Sistema de Tinción Automatizado Multistainer ST5020 Leica (Figura 10). Para el montaje de las muestras se usó el adhesivo Cytoseal<sup>™</sup> XYL para su observación con un microscopio.



**Figura 10.** Método estándar realizado en *Prionurus laticlavius* para la tinción hematoxilina-eosina con secuencia de tiempos. (Modificado de Humason, 1979).

(Los materiales y métodos complementarios de cada objetivo se encuentran descritos en cada capítulo).

## 7. RESULTADOS

### CAPÍTULO 1

---

**Relación peso-longitud y factor de condición relativo de *Prionurus laticlavus* en el Golfo de California, México**

## INTRODUCCIÓN

La relación peso-longitud (RPL) al igual que otras relaciones biométricas, es una herramienta útil en la biología, fisiología, ecología y en la evaluación de los recursos pesqueros, debido a que permite estimar la biomasa de las especies a partir de la longitud, evaluar el grado de condición y bienestar de los organismos, así como construir modelos de crecimiento somático basados en estos parámetros (Costa & Araujo, 2003; Duarte et al., 2015). Además, esta expresión cuantitativa mide el grado de desarrollo corporal que puede asumir un organismo mediante el factor de condición (K), que expresa la variación en la condición alimenticia del organismo (Costa & Araujo, 2003; Cifuentes et al., 2012). En conjunto, estas herramientas son buenos indicadores indirectos del crecimiento, madurez, reproducción, nutrición y estado de salud de las poblaciones (Froese, 2006; Cifuentes et al., 2012). Por consiguiente, pueden contribuir al entendimiento de los cambios morfológicos originados durante el crecimiento de las especies, como una respuesta de adaptación frente a las presiones ambientales (González-Álvarez, 2013).

El navajón barbero, *Prionurus laticlavius*, es una especie que habita en fondos rocosos y se distribuye a lo largo del Pacífico Oriental tropical (Robertson y Allen, 2016; Ludt et al., 2019). Su importancia comercial es mayormente ornamental, sin embargo, es consumida ocasionalmente por pobladores de los campos pesqueros, cuando recursos de mayor valor alimenticio escasean o están en veda. Su tipo de crecimiento es desconocido debido a la poca información acerca de su biología, aunque existen estudios que reportan de manera general un crecimiento alométrico positivo y negativo en varias especies de la familia (Choat & Axe, 1996; Froese, 1998).

Pese a su importancia, *P. laticlavius* carece de estudios que describan sus relaciones biométricas y condición corporal, por lo que en el presente estudio se analiza la RPL y el  $K_{rel}$  en cinco categorías, incluidas dos fases de desarrollo (adultos y juveniles) en la costa sudoccidental del Golfo de California, como una contribución a la información biológica de la especie.



## MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio, adicionalmente, fueron incluidos organismos juveniles y adultos recolectados de enero a diciembre del 2003 y 2004 en las localidades previamente descritas. Los datos biométricos fueron obtenidos de acuerdo con lo descrito en la sección 6.3.

La estimación de la relación peso-longitud (RPL) se basó en el modelo potencial  $PT = aLT^b$  (Le Cren, 1951), ajustando los parámetros por máxima verosimilitud a partir de la transformación logarítmica:

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

donde  $a$  es el intercepto o coeficiente de crecimiento inicial y  $b$  la pendiente o coeficiente de alometría. Cuando  $b = 3$  el crecimiento es isométrico, aumentando proporcionalmente en peso y longitud, pero si el valor de  $b$  es distinto de 3; el cambio en estos parámetros es alométrico (positivo si  $b > 3$ , negativo si  $b < 3$ ) (Froese 1998; De la Hoz et al., 2016). Por otra parte, con el fin de detectar *outliers*, se realizó un gráfico LT-PT, donde fueron eliminados (De la Hoz et al., 2009).

Se realizó una  $t$  de Student con el objetivo de 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 95% (IC<sub>95%</sub>) para  $a$  y  $b$  (De la Hoz et al., 2016).

La RPL se estimó considerando las siguientes categorías: general (adultos y juveniles), adultos (hembra y macho combinados), por sexo, juveniles, y temporada (fría y cálida). El sexo fue asignado por observación directa de las gónadas. En la categoría sexo y temporada se consideraron únicamente organismos adultos (mayores a 20 cm de LT) debido a que la utilización de ambas etapas de crecimiento (juvenil y adulto) en un mismo análisis podría generar errores en la estimación (Froese, 2006). La etapa juvenil incluyó a los individuos más pequeños reclutados en el arrecife (de tres a diez centímetros de LT) (Trujillo-Millán, 2003) y a todo individuo menor a 20 cm de LT, que tuviera la gónada incipiente. La temporada fue definida en referencia al promedio anual de la TSM, (25°C), donde los meses que

se encontrasen con valores menores se consideraron como la temporada fría (diciembre a mayo) y los mayores la cálida (junio a noviembre).

El factor de condición relativo ( $K_{rel}$ ) se empleó debido a que éste integra el cambio en el tipo de crecimiento de los organismos a medida que aumentan en longitud (Le Cren, 1951), expresando la proporción existente del peso observado de un individuo con el valor esperado correspondiente a su misma longitud  $K_{rel} = \frac{PT}{aLT^b}$  (Froese, 2006). También se calculó el índice gonadosomático (IGS) de acuerdo con la siguiente ecuación:  $IGS=(PG/PE)*100$ . El parámetro  $K_{rel}$  y el IGS fue comparado entre todas las categorías mediante análisis de varianza no paramétrico (Kruskal-Wallis).

En todos los análisis se utilizó como medida de bondad de ajuste el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), y los  $IC_{95\%}$  fueron estimados mediante el método *bootstrap* acelerado con corrección de sesgo y 1000 remuestras (Efron, 1987; Zar, 2010). Para todas las pruebas estadísticas se manejó un  $p < 0.05$ , en el programa R (R Core Team, 2019).

## RESULTADOS

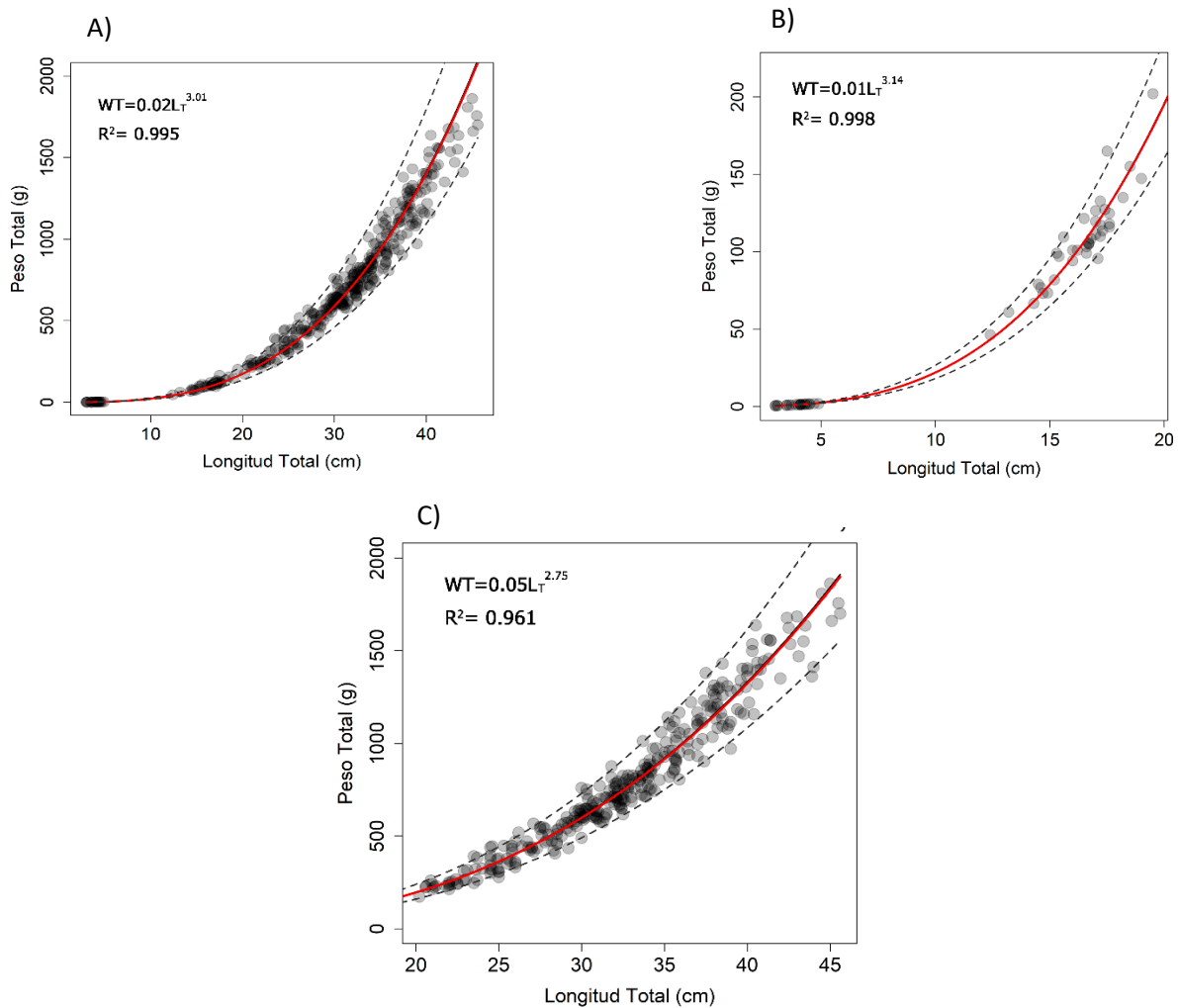
Se obtuvieron un total de 379 organismos que midieron entre 3-45.6 cm de LT (media = 29.2 cm  $\pm$  9.56 desviación estándar) y pesaron entre 0.58-1904.8 g de PT ( $\bar{X}$ = 688.3 g  $\pm$  440.5 sd).

En la Tabla 1 se presentan las medidas biométricas y el número de organismos utilizados por categoría, así como los valores del análisis de regresión, el  $K_{rel}$  y el IGS. Se encontró que todos los análisis explicaron más del 96% de la varianza, además de una fuerte correlación entre PT-LT en todas las categorías. El análisis de regresión demostró que el crecimiento de *P. laticlavus* (incluyendo juveniles y adultos) es isométrico ( $b=3$ ). Sin embargo, al hacer el análisis por separado se encontró que en la etapa juvenil de *P. laticlavus* el crecimiento es alométrico positivo ( $b>3$ ), mientras que en adultos alométrico negativo ( $b<3$ ). En las

demás categorías evaluadas (sexo y temporada) el crecimiento fue alométrico negativo ( $b < 3$ ). La representación gráfica muestra los tres tipos de crecimiento registrados en *P. laticlavius* (Figura 1). El  $K_{rel}$  y el IGS fueron más altos en las hembras ( $5.77 \pm 0.60$  y  $1.07 \pm 0.88$ , respectivamente) y durante la temporada cálida ( $5.08 \pm 0.45$  y  $1.56 \pm 1.01$ , respectivamente) (Tabla 1).

**Tabla 1.** Variables biométricas y valores del análisis de regresión de la relación peso-longitud, factor de condición relativo ( $K_{rel}$ ) e índice gonadosomático (IGS) de *Prionurus laticlavius* de la costa sudoccidental del Golfo de California. **n**= Número de organismos,  $\bar{x}$  = media, **sd**= desviación estándar, **a**, Intercepto, **b**, pendiente de regresión, **R<sup>2</sup>**, coeficiente de determinación. \***Isometría**, **Alometría positiva**

Categoría	n	Longitud Total (cm)	Peso Total (g)	$K_{rel}$	IGS	Intervalo de confianza			Intervalo de confianza			$R^2$
		$\bar{x} \pm sd$ (Min-Max)	$\bar{x} \pm sd$ (Min-Max)	$\bar{x} \pm sd$ (Min-Max)	$\bar{x} \pm sd$ (Min-Max)	a	Inf	Sup	b	Inf	Sup	
General	379	29.2 ± 9.56 (3.0 - 45.6)	638.3 ± 440.5 (0.5 - 1904.8)	2.12 ± 0.27 (1.28-7.32)	0.97 ± 0.85 (0.00-4.46)	0.02	0.01	0.02	<b>3.01*</b>	2.98	3.03	0.99
Adultos	318	32.5 ± 5.71 (20.2-45.6)	807.2 ± 377.8 (173.1-1904.8)	5.21 ± 0.60 (3.15-7.32)	1.01 ± 0.87 (0.05-4.46)	0.05	0.04	0.06	2.75	2.68	2.82	0.96
Juvenil	61	11.8 ± 6.15 (3.0 - 19.5)	68.6 ± 56.8 (0.5-202.0)	1.60 ± 0.17 (1.28-2.17)	0.53 ± 0.50 (0.00-2.57)	0.01	0.01	0.02	<b>3.14</b>	3.11	3.18	0.99
Hembra	181	32.8 ± 6.09 (20.2-45.6)	831.2 ± 399.2 (173.1-1861.8)	5.77 ± 0.60 (3.84-7.32)	1.07 ± 0.88 (0.21-4.46)	0.05	0.04	0.07	2.72	2.63	2.80	0.96
Macho	137	32.1 ± 5.30 (20.6-43.4)	775.6 ± 346.4 (225.5-1904.8)	4.54 ± 0.58 (3.15-8.33)	0.95 ± 0.75 (0.05-3.41)	0.04	0.02	0.06	2.79	2.68	2.91	0.96
Fría	137	32.3 ± 5.76 (20.2-45.6)	790.9 ± 376.5 (173.1-1861.8)	4.68 ± 0.74 (3.08-5.92)	0.50 ± 0.44 (0.21-0.85)	0.04	0.03	0.06	2.78	2.69	2.87	0.97
Cálida	181	32.7 ± 5.69 (20.6-45.5)	819.6 ± 379.3 (213.5-1904.8)	5.08 ± 0.45 (4.07-10.72)	1.56 ± 1.01 (0.54-4.46)	0.05	0.04	0.08	2.72	2.62	2.82	0.96



**Figura 1.** Tipos de crecimiento registrados en *Prionurus laticlavus* en las categorías: A) General, B) Juvenil y C) Adultos (isométrico, alométrico positivo y alométrico negativo, respectivamente).

## DISCUSIÓN

Todas las categorías evaluadas (general, adultos, juvenil, sexos y temporada) presentaron un valor de  $b$  dentro del intervalo esperado ( $2.5 < b < 3.5$ ) (Froese, 2006). En este estudio se encontró que el crecimiento de *P. laticlavus* fue de tipo isométrico al incluir en el análisis ambos estadios de vida (juvenil y adultos), pero el crecimiento fue diferente cuando los datos se analizaron de forma independiente. Esto ha sido reportado en *Clupea harengus* (Fulton, 1904), cuya variación es explicada por los cambios abruptos o “estancias de crecimiento” (Renán et al., 2014) que ocurren durante la etapa juvenil, mientras que durante la etapa adulta el

crecimiento puede variar por aspectos involucrados en la madurez sexual (Renán et al., 2014). Lo anterior implica el reconocimiento de estas fases de desarrollo y su estimación de forma separada, para evitar la sub o sobreestimación del crecimiento de los organismos (Froese, 2006; Jellyman et al., 2013).

Durante su etapa juvenil *P. laticlavus* tuvo un crecimiento alométrico positivo ( $b = 3.14$ ), similar a lo reportado para los juveniles de otros acantúridos como: *Zebrasoma flavescens* (3.16) (Froese, 1998), *Naso minor* ( $b = 3.25$ ) (Gumanao et al., 2016), *Acanthurus triostegus* ( $b = 3.13$ ) y *A. nigrofuscus* ( $b = 3.36$ ) (Peyton et al., 2016). Lo anterior corrobora que el crecimiento de los peces durante las primeras etapas de desarrollo (desde el asentamiento hasta juvenil) ocurre de manera indeterminada (Froese, 2006) con respecto de los adultos, dado que la energía es destinada principalmente al crecimiento (Lloret et al., 2013), favoreciendo el desarrollo de un cuerpo mayormente elongado.

Por otra parte, los adultos de *P. laticlavus* presentaron un crecimiento alométrico negativo ( $b < 3$ ), el cual coincide con lo reportado para varias especies de acantúridos (Tabla 2). Esta tendencia de crecimiento ocurre en organismos que inician la maduración sexual, por lo que comienzan a usar mucha energía con fines reproductivos, dejando de forma secundaria el crecimiento corporal (Lloret et al., 2013).

**Tabla 2.** Lista de especies de acantúridos que presentan crecimiento alométrico negativo

<b>Especie</b>	<b><i>b</i></b>	<b>Reporte</b>
<i>Acanthurus lineatus</i>	2.69	(Choat & Axe, 1996)
<i>A. guttatus</i>	2.90	(Kamikawa et al., 2015)
<i>A. lineatus</i>	2.81	(Kamikawa et al., 2015)
<i>A. nigricauda</i>	2.77	(Kamikawa et al., 2015)
<i>A. olivaceus</i>	2.70	(Kamikawa et al., 2015)
<i>A. trostegus</i>	2.91	(Kamikawa et al., 2015)
<i>A. xanthopterus</i>	2.92	(Kamikawa et al., 2015)
<i>A. mata</i>	2.71	(Gumanao et al., 2016)
<i>Ctenochaetus striatus</i>	2.69	(Gumanao et al., 2016)

<b>Especie</b>	<b><i>b</i></b>	<b>Reporte</b>
<i>C. binotatus</i>	2.93	(Gumanao et al., 2016)
<i>Naso brevirostris</i>	2.74	(Choat & Axe, 1996)
<i>N. hexacanthus</i>	2.85	(Choat & Axe, 1996)
<i>N. tuberosus</i>	2.80	(Choat & Axe, 1996)
<i>N. unicornis</i>	2.84	(Choat & Axe, 1996)
<i>N. vlamingii</i>	2.84	(Choat & Axe, 1996)
<i>N. unicornis</i>	2.92	(Kamikawa et al., 2015)
<i>N. caeruleacauda</i>	2.64	(Gumanao et al., 2016)
<i>Zebrasoma scopas</i>	2.94	(Choat & Axe, 1996)
<i>Prionurus maculatus</i>	2.50	(Choat & Axe, 1996)

Dentro del género *Prionurus*, la RPL ha sido estimada únicamente en *P. maculatus* cuyo crecimiento alométrico negativo (Choat & Axe, 1996) coincide con lo obtenido en el presente estudio para *P. laticlavus*. Por ello, es probable que las seis especies reconocidas del género en la base de datos Fishbase (Froese & Pauly, 2019) muestren el mismo tipo de crecimiento, tal como parece ser encontrado en las especies del género *Acanthurus* y *Naso*, las cuales presentan una misma tendencia del tipo de crecimiento (Choat & Axe, 1996; Kamikawa et al., 2015). Sin embargo, es necesaria su exploración para confirmar esta hipótesis, dado que las diferencias en la distribución geográfica tanto a nivel intraespecífica como interespecífica de *Prionurus* podrían influir en el tipo de crecimiento, como se ha demostrado en otras especies de peces (Fenaughty, 2006; Joyeux et al., 2009).

El  $K_{rel}$  de los individuos de *P. laticlavus* fue alto en todas las categorías, con valores por encima del promedio ( $K_{rel} > 1$ ) (Ighwela et al., 2011), lo que indica que tienen suficientes reservas energéticas y buen estado de salud, probablemente por la disponibilidad de alimento en la zona y su amplia diversidad de *items* que consumen (Moreno-Sánchez et al., 2014). Estos altos valores han sido observados en el acantúrido *A. nigrofuscus* (Fishelson et al., 1987) y el perico *Scarus rivulatus* (Gusrin et al., 2020).

El valor de  $K_{rel}$  fue mayor durante la temporada cálida, en concordancia con los altos valores del IGS, posiblemente como una estrategia con fines energéticos para llevar a cabo el evento reproductivo (Le Cren, 1951), lo cual es sustentado por el aumento de grasa visceral observado durante esa época cálida (Obs. Per). Particularmente, las hembras de *P. laticlavius* presentaron los valores más altos de  $K_{rel}$ , debido a que la inversión energética para la reproducción es típicamente mayor en las hembras que en los machos (Hayward & Gillooly, 2011). Todo lo anterior sugiere que *P. laticlavius* al igual que otros peces de aguas tropicales no suspende su alimentación durante el periodo reproductivo (Valpato & Trajano, 2005) contrario a lo que sucede en algunos de aguas templadas y frías (Barnham & Baxter, 1998), por lo tanto, es muy probable que su condición dependa principalmente de la disponibilidad del alimento y sus procesos fisiológicos reproductivos (Le Cren, 1951).

Finalmente, este trabajo representa la primera contribución del tipo de crecimiento de *P. laticlavius*, mediante la evaluación de la relación peso-longitud y factor de condición relativo en la costa sudoccidental del Golfo de California, además de ser el primero para el género en incluir juveniles y temporadas.

## CAPÍTULO 2

---

**Espectro morfocromático en la maduración gonádica del navajón barbero  
*Prionurus laticlavus* con validación histológica**



## INTRODUCCIÓN

El estado de madurez en los peces es una referencia biológica que permite determinar la proporción de la población que se encuentra reproductivamente madura, siendo un parámetro reproductivo tradicionalmente usado para el manejo de los stocks pesqueros (Lowerre-Barbieri, 2009; Blaxter, 2010). La maduración gonádica es propia de cada especie (Brown-Peterson et al., 2011) y su determinación mediante la observación directa de las gónadas puede ser una herramienta para estimar fácil y rápidamente la condición reproductiva de los organismos. Sin embargo, esta técnica puede enmascarar errores, debido a que sólo se basa en la morfología externa de la gónada (Gluyas-Millán, 1994; Sánchez et al., 2013), obviando los cambios sutiles que suceden a nivel histológico, tales como el crecimiento progresivo de los ovocitos y sus modificaciones en estructura nuclear y citoplásmica (McMillan, 2007), por lo que en muchas especies no es posible discriminar visualmente entre las hembras que se encuentran en la fase de inmadurez de las que están en de reposo (Domínguez-Petit, 2007). Contrario a esto, el uso de técnicas histológicas es uno de los métodos más precisos para el análisis de estos procesos reproductivos, ya que provee información directa sobre el estado de maduración ovárica y testicular a partir de la evaluación estructural microscópica de la gónada (Selman et al., 1993; Coward & Bromage, 1998; Kritzer, 2004). Por lo tanto, estas dos herramientas en conjunto pueden ser útiles para la obtención de escalas de maduración gonádica con criterios morfológicos externos y microscópicos, cuya finalidad sea minimizar errores de estimación, validar las diferencias del estado de maduración gonádica de los organismos (Kjesbu et al., 2003; Stahl, 2008) y aplicarse fácilmente al momento de las capturas. Por lo tanto, si se consigue una escala de madurez gonádica morfocromática validada y bien elaborada, ésta podría convertirse en la herramienta principal de identificación de madurez, dejando a la histología únicamente para cuestiones muy particulares (Sánchez et al., 2013).

*Prionurus laticlavus*, también llamado navajón barbero, pertenece a la familia Acanthuridae, una de las más representativas y dominantes del Golfo de California

(GC) (Aburto-Oropeza & Balart, 2001; Piña-Espallargas, 2005). Presenta hábitos diurnos y alcanza tallas máximas de 60 cm de longitud total. Su función ecológica es de las más representativas en los arrecifes, sin embargo, las investigaciones acerca de sus parámetros reproductivos han sido muy limitadas, siendo desconocida gran parte de su dinámica reproductiva.

En el presente estudio se describe por primera vez para *P. laticlavus* un espectro morfocromático de la maduración gonádica con validación histológica, como una herramienta biológica para ayudar a entender la estrategia reproductiva de la especie y mejorar el conocimiento del estado reproductivo de los organismos durante las capturas.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### ***Procesamiento de muestras***

Una vez obtenidas las biometrías pertinentes (ver sección 6.3), la gónada fue inmediatamente fotografiada para establecer una escala morfocromática de madurez gonádica, considerando forma, tamaño, color y turgencia. Finalmente, se realizó el procesamiento histológico en cada una de las gónadas (ver sección 6.4).

### ***Histoarquitectura gonádica***

Se describieron las fases de desarrollo gonádico de acuerdo con la escala propuesta por Brown-Peterson et al. (2011): inmaduro, en desarrollo, capacidad de desove, regresión y regeneración. Para la descripción de los tipos de ovocitos y su morfología se emplearon las características de crecimiento ovocitario descritas por Wallace & Selman (1981) y Kagawa (2013). Adicionalmente, se midieron los diámetros de cada tipo de ovocitos y la pared folicular en cada fase de desarrollo gonádico. Estas medidas son características importantes para la diferenciación de las fases gonádicas, lo que reduce la subjetividad en su asignación. Para ello, se seleccionaron diez láminas por cada fase gonádica y se obtuvieron imágenes mediante un microscopio vertical Leica DMC2900 con cámara digital integrada, con ayuda de la aplicación LAS versión 4.12 (modificado de Hernández-Olalde, 2008). Una vez establecida histológicamente la fase de cada organismo, se compararon

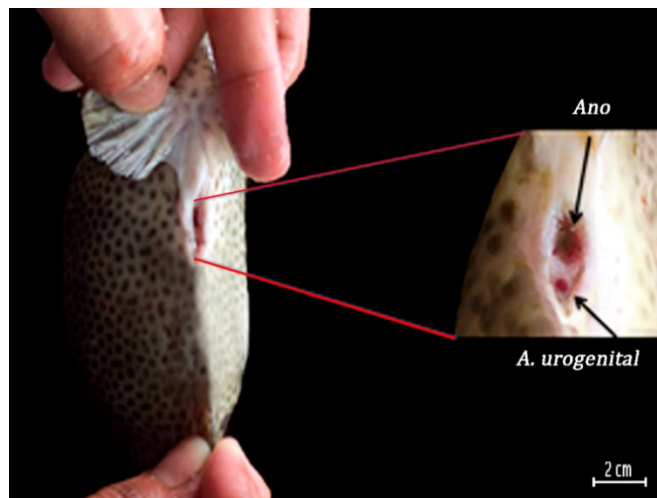
con las características morfocromáticas de la gónada para establecer la escala y sus respectivas variaciones.

## RESULTADOS

Se analizaron 278 organismos, los cuales midieron entre 14.6 y 45.6 cm de LT ( $\bar{X}$  = 32.4 cm  $\pm$  6.6 desviación estándar) y pesaron entre 73.4 y 1904.8 g de PT (817.6 g  $\pm$  397.2). Del total, 159 (57.2%) fueron hembras y 119 (42.8%) fueron machos.

### ***Morfología y estructura gonádica***

La morfología ovárica y testicular de *P. punctatus* es bilobular, orientada dorsoventralmente dentro la cavidad celómica. Sin embargo, en las hembras los lóbulos no se encuentran completamente separados como en los machos, sino que están unidos por un tejido conectivo de mayor grosor y elasticidad, resultando en una gónada de apariencia redondeada. Los testículos son alargados y presentan una serie de pliegues dispuestos a lo largo. En ambos sexos los órganos están conectados a un ducto proyectado hacia una abertura o papila urogenital para la expulsión de sus gametos, la cual es independiente del ano (Figura 1).

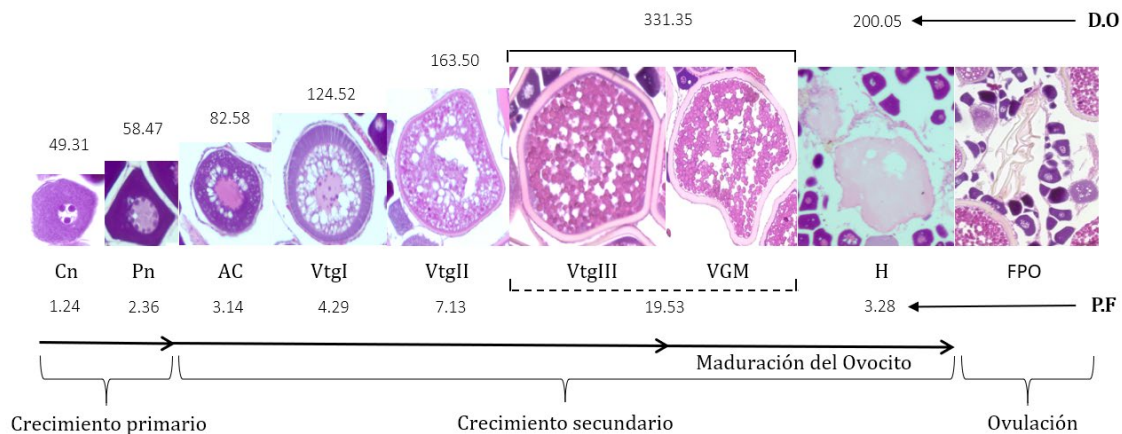


**Figura 1.** Separación entre la abertura urogenital y el ano de *Prionurus laticlavius* (Foto: Fernando Aguilar).

La estructura ovárica se caracteriza por presentar ovocitos en diferentes fases de desarrollo, los cuales están envueltos por una lamela ovígera (proyección de epitelio germinal) dirigida hacia el centro de la gónada para la formación de un lumen. Los testículos presentan un tejido organizado en islotes celulares, donde se lleva a cabo la espermiogénesis. Eventualmente, la presión ejercida por los espermatozoides producirá el alargamiento de los cistos o criptas espermáticas dando lugar a un rompimiento (quiasmas), que da origen a un lumen central donde los espermatozoides se almacenan para posteriormente ser expulsados.

### **Crecimiento de ovocitos y pared folicular**

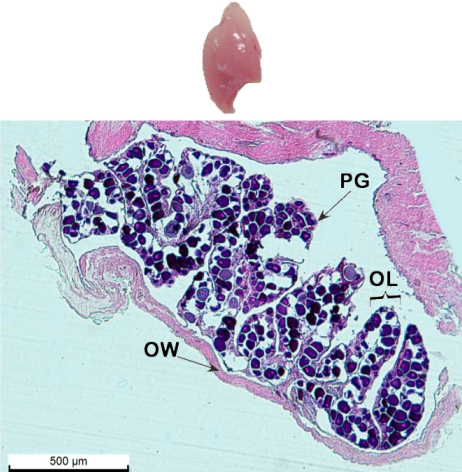
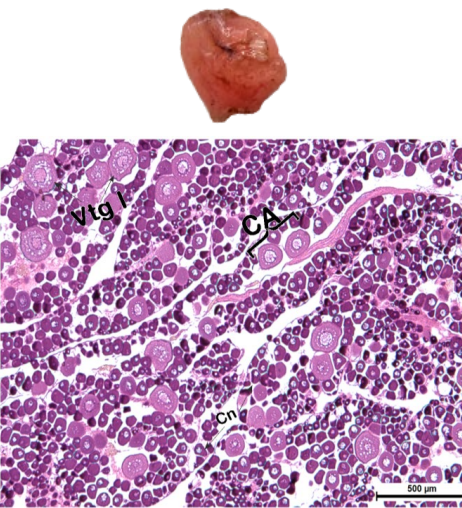
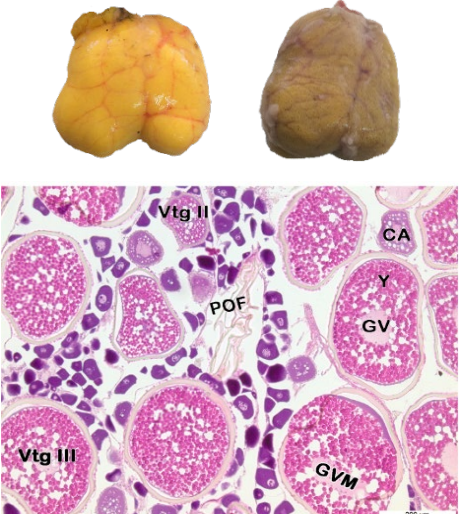
Se encontraron nueve etapas de crecimiento ovocitario divididas en tres fases: crecimiento primario (CP), crecimiento secundario (CS) incluida la maduración del ovocito y (O) ovulación. En la fase de CP, los ovocitos midieron entre 49.31 a 58.47  $\mu\text{m}$  de diámetro y la pared folicular (PF) entre 1.24 y 2.36  $\mu\text{m}$ . En la fase de CS, los ovocitos midieron entre 82.58 y 331.35  $\mu\text{m}$ , mientras que la PF midió entre 3.14 y 19.53  $\mu\text{m}$ , con un mayor incremento de ambas variables en los ovocitos vitelogénicos III y ovocitos vitelogénicos con vesícula germinal en migración. Por otro lado, se encontró que los ovocitos hidratados disminuyeron su diámetro y el grosor de la pared folicular (Figura 2).



**Figura 2.** Escala de maduración de los ovocitos de *Prionurus laticlavius* con valores del diámetro y grosor de pared folicular ( $\mu\text{m}$ ) en cada etapa de crecimiento ovocitario. Cn = cromatina nucleolar, Pn = perinucleolar, AC = alveolo cortical, VtgI= vitelogénesis primaria, VtgII = vitelogénesis secundaria, VtgIII = vitelogénesis terciaria, VGM = vesícula germinal en migración, H = ovocito hidratado, FPO = folículo post-ovulatorio. **D.O** diámetro de ovocitos, **P.F** = pared folicular.

En las tablas 1 y 2 se encuentran las descripciones morfocromáticas e histológicas de las fases gonádicas de hembras y machos respectivamente. De acuerdo con las características histológicas de las gónadas, se identificaron cinco fases de desarrollo gonádico de *P. laticlavius*. Las fases capacidad de desove (CD), regresión (RG) y regeneración (RGE) presentaron un amplio espectro en su forma, tamaño, coloración y textura (14 variedades en la gónada de las hembras y 16 en los machos), mientras que las fases inmaduro (INM) y desarrollo (DES) no mostraron cambios significativos en su morfología externa, siendo únicamente gónadas pequeñas de coloración rosácea de forma redondeada en hembras y blanquecina y alargada en machos. Por otro lado, la fase CD fue la que presentó las mayores variaciones morfocromáticas entre sexos (dos variedades en las hembras y seis en los machos), mientras que las demás fases fueron similares. Las fases inmaduro y regeneración compartieron algunas características histológicas, como la presencia de ovocitos en crecimiento primario (Ocp), sin embargo, la pared ovárica y los paquetes musculares fueron características importantes para su diferenciación. Con relación a los machos, la presencia de pliegues y la coloración negruzca fueron características compartidas en todas las fases con variaciones morfocromáticas.

**Tabla 1.** Descripción macroscópica e histológica de la maduración gonádica de las hembras de *Prionurus laticlavius* (Escala = 500  $\mu$ m). **M** = macroscópica, **H** = histológica. Ocp = ovocitos en crecimiento primario, Cn = cromatina nucleolar, Oac = ovocitos en alveolo cortical, Vtg I = vitelogénesis primaria, Vtg II = vitelogénesis secundaria, Vtg III = vitelogénesis terciaria, VGM = migración de vesícula germinal, FPO = folículo post-ovulatorio, Mm = melanomacrófagos, Mp = paquetes musculares, At = atresias, OW = pared ovárica, OL = lamela ovígera.

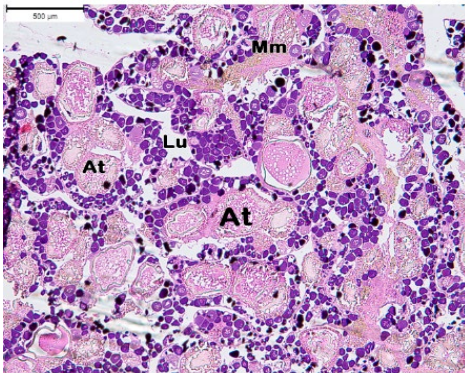
Aspecto	Descripción	Fase
	<p><b>M:</b> Gónada pequeña. Forma bilobular poco visible, sin vascularización. Textura blanda y coloración rosada translúcida.</p> <p><b>H:</b> Pared ovárica delgada. Únicamente Ocp en toda la gónada. Lámelas ovígeras compactas y pequeñas. Estroma ovárico a veces visible.</p>	<p><b>Inmaduro</b></p>
	<p><b>M:</b> Gónada de tamaño medio. Forma bilobular poco visible. Inicia la vascularización y aumenta la firmeza. Coloración anaranjada con manchas amarillentas. Tejido conjuntivo firme.</p> <p><b>H:</b> Pared ovárica medianamente gruesa. Abundantes Ocp. Aparición de Oac y algunos Vtg I. Lamelas ovígeras alargadas</p>	<p><b>Desarrollo</b></p>
	<p><b>M:</b> Gónada grande y bilobular, muy vascularizada, textura firme y ligeramente acuosa, coloración amarilla o marrón; tejido conjuntivo firme, sin espacio ovárico.</p> <p><b>H:</b> Pared ovárica gruesa, presencia de Ocp, Vtg I, II y abundancia de Vtg III, evidencia de proteólisis y ovocitos en VGM, puede haber ovocitos hidratados, algunas atresias y FPO.</p>	<p><b>Capacidad de Desove</b></p>





**M:** Tamaño de gónada reducida. La forma bilobular en la mayoría es ausente. Coloración muy variable (matices amarillos, marrones, verdes hasta oscuras con pigmentaciones a lo largo del órgano). Poca o nula vascularización. Tejido conectivo ha perdido firmeza, se visualiza un espacio ovárico y líquido hialino. La textura es mayormente acuosa.

### Regresión

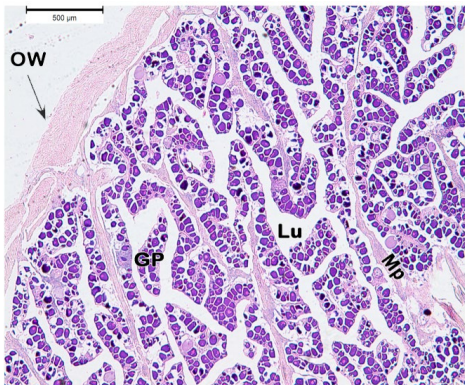


**H:** Pared ovárica gruesa, evidente incremento de atresias y un mayor espacio entre los ovocitos. Lamelas ovígeras pueden contener algunos ovocitos Vtg III, Ocp, Oac y melanomacrófagos.



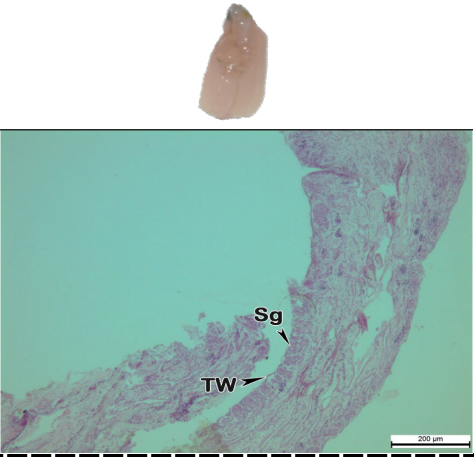
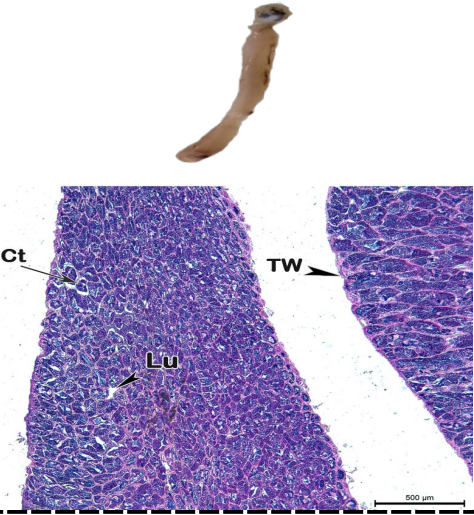

**M:** La gónada perdió la forma bilobular. Aspecto amorfo, con textura rugosa y acuosa. Coloración variable, de tintes oscuros en la mayoría de las veces. Tejido conjuntivo completamente flácido, con zonas translúcidas. Abundante contenido hialino y espacio ovárico. Nula vascularización.

### Regeneración

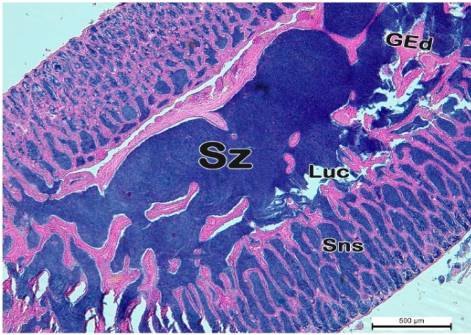


**H:** La gónada es sexualmente madura. Pared ovárica muy gruesa. Lamelas ovígeras bien definidas, con abundantes Ocp y melanomacrófagos, amplio espacio entre ovocitos, paquetes musculares y atresias en diferentes estados, principalmente gamma.

**Tabla 2.** Descripción macroscópica e histológica de la maduración gonádica de los machos de *Prionurus laticlavus* (Escala = 500  $\mu$ m). **M** = macroscópica, **H** = histológica. EG = epitelio germinal, Sg = espermatogonia, Sc I = espermatocito primario, Sc II = espermatocito secundario, Ep = espermatida, Sz = espermatozoide, Plu = prototipo de lumen, Mm = melanomacrófagos, Szm = espermatozoides residuales, Szo = espermatozoides ocasionales, Sns = senos espermáticos, Ct = cistos espermáticos.

Aspecto	Descripción	Fase
	<p><b>M:</b> Gónada pequeña. Forma bilobular poco visible. Textura blanda. Coloración blanquecina y translúcida. Sin presencia de pliegues.</p> <p><b>H:</b> Pared testicular delgada. Abundancia de Eg en el EG. Sin evidencia de lumen en lóbulos.</p>	<b>Inmaduro</b>
	<p><b>M:</b> Gónada alargada y bilobular. Textura blanda. Coloración blanquecina con tintes marrones. Pliegues en formación.</p> <p><b>H:</b> Pared testicular medianamente gruesa. Formación de Ct espermáticos. Presencia de Sc I y II. Algunas Ep y Sz dentro de Ct. Sin lumen definido. EG continuo.</p>	<b>Desarrollo</b>
	<p><b>M:</b> Gónada grande y bilobular, alargada o semi alargada. Puede presentar pliegues a lo largo del testículo. Textura firme, apariencia reseca y/o fragmentable. Coloración variable (blanca, con tintes amarillentos y/o manchas negras). Contenido lechoso y viscoso.</p>	<b>Capacidad de Desove</b>



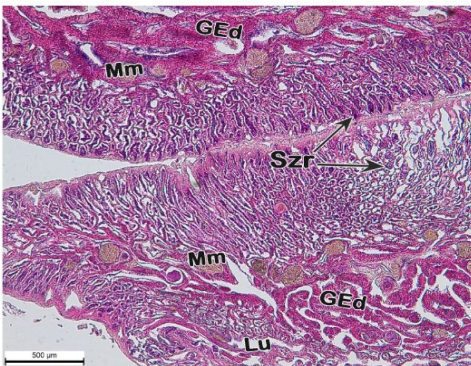


**H:** EG continuo o discontinuo y tejido organizado. Cistos, ducto espermático y lumen central llenos de Ez. Evidente rompimiento de cistos (quiasmas). Células en desarrollo (ocasionalmente) en periferia de gónada.



**M:** Gónada bilobular (A veces no visible a simple vista) semi alargada. Apariencia gelatinosa y textura flácida. Ocasionalmente pliegues definidos. Coloración de rojiza a negra.

### Regresión

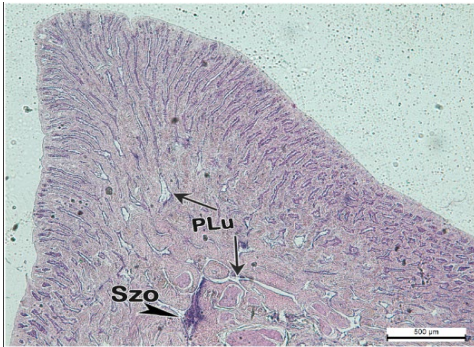


**H:** Senos, cistos espermáticos y lumen de gónada con Ez residuales. EG discontinuo y tejido desorganizado, principalmente en lumen, poca actividad espermatogénica, Presencia de Mm, y algunos Sc II y Ep.



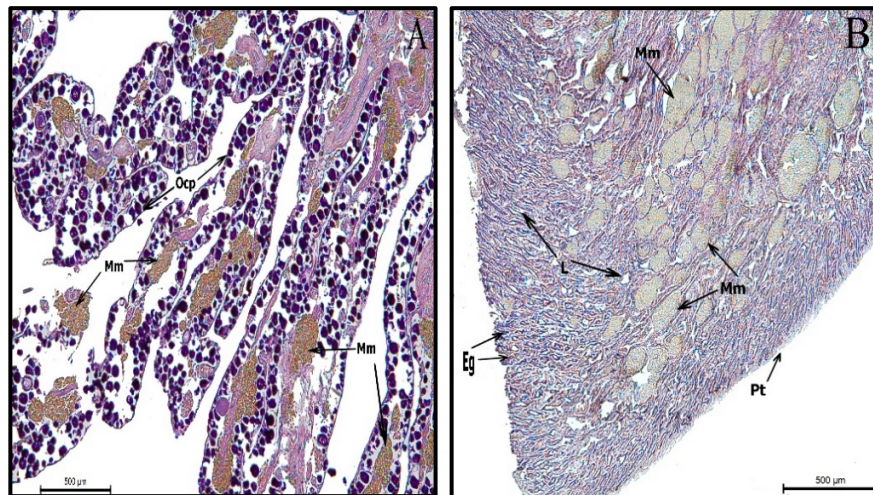
**M:** Gónada bilobular y alargada. Pliegues poco definidos. Apariencia reseca, poca firmeza y fragmentable. Consistencia acuosa. Coloración de marrón a negro, A veces pigmentaciones rojas.

## Regeneración



**H:** Proliferación de Eg en testículo. Ez y Mm residuales. Prototipo de lumen. Células en desarrollo en cistos. EG discontinuo y tejido desorganizado. No hay Sc.

Aunado a lo anterior, entre las particularidades histológicas se encontraron abundantes melanomacrófagos (agentes de reabsorción celular) en las fases de regeneración en hembras y regresión en machos (Figura 3).



**Figura 3.** Microfotografía del desarrollo gonádico de *Prionurus laticlavus* (Escala = 500  $\mu$ m). A) hembra en fase de regeneración (Mm = melanomacrófagos, Ocp = ovocitos en crecimiento primario y B) macho en fase de regresión (Mm = melanomacrófagos, Eg = espermatogonia, L = lumen y Pt = pared testicular).

## DISCUSIÓN

La morfología y estructura gonádica de *P. laticlavius* fue similar a la de otros acantúridos, con órganos bilobulares dispuestos dorsoventralmente en ambos sexos (Fishelson et al., 1987). Sin embargo, *P. laticlavius* mostró diferencias asimétricas en tamaño, con gónadas mayormente redondeadas en las hembras y alargadas en los machos, además de un amplio espectro morfo cromático presente en tres de sus fases de desarrollo gonádico, capacidad de desove, regresión y regeneración en ambos sexos.

El proceso de ovogénesis implica un incremento progresivo en el tamaño de los ovocitos, debido a la modificación de su morfología nuclear y citoplásmica durante cada fase de desarrollo (McMillan, 2007), y el incremento finaliza hasta alcanzar la fase de hidratación (Wallace & Selman, 1981; Nagahama, 1983), lo que indica el inminente desove (Wallace & Selman, 1981; McMillan, 2007). Por ello, la medición de los diámetros de los ovocitos es un complemento importante para establecer una escala de madurez (Ramsay y Witthames 1996), parámetro muy utilizado en el manejo de los recursos marinos (Vilanova-Queiroz et al., 2018). Sin embargo, es muy importante conocer las características de su desarrollo, ya que éstas pueden variar entre especies (Brown-Peterson et al., 2011). En *P. laticlavius* el diámetro medio de sus ovocitos, desde la fase Cn hasta la fase VGM, fue similar a *Naso unicornis* ( $\bar{x}$ = 47.0-392  $\mu$ m) (Eble et al., 2009) y *Zebrasoma flavescens* ( $\bar{x}$ = 25.6-452.0) (Bushnell, 2007). No obstante, contrario a lo que mencionan Wallace & Selman (1981) y Nagahama, (1983), los ovocitos hidratados de *P. laticlavius* sufrieron una disminución del 36.7% de su diámetro, mientras que, en *N. unicornis*, *Z. flavescens* y *Acanthurus coeruleus* aumentaron un 12%, 38.5% y ~50%, respectivamente durante esta etapa de crecimiento (Eble et al., 2009; Vilanova-Queiroz et al., 2018). La causa de esta disminución no pudo establecerse con claridad en este estudio, sin embargo, pudiera ser atribuida a que los ovocitos hidratados de *P. laticlavius* pertenezcan a una cohorte previa, donde la tasa de reclutamiento de cohorte de ovocitos entre fases ováricas sea el factor principal, o a la incipiente reabsorción celular originada por la detención del crecimiento de los

ovocitos en fases avanzadas (Vtg III y VGM), que posteriormente será una reserva permanente de ovocitos que darán origen al siguiente lote a desovar (Costa et al., 2015). Finalmente, podría también deberse a un error metodológico en la deshidratación del tejido, causando una disminución del tamaño real de la célula (Bushnell, 2007).

La pared folicular de los ovocitos de *P. laticlavus* presentó un engrosamiento progresivo de acuerdo con cada fase de desarrollo, hasta la migración de la vesícula germinal. Este engrosamiento ocurre debido a los cambios morfológicos de la zona radiada y las células de la granulosa, ya que durante el proceso de vitelogénesis, estas pasan de escamosa a cuboidal o columnar, desarrollando un retículo endoplásmico rugoso y un aparato de Golgi con crestas aplanadas, lo que resulta en un incremento en el volumen folicular (Matsuyama et al., 1991). Del mismo modo, cuando ocurre la migración de la vesícula germinal, estas células se estiran contribuyendo nuevamente al aumento folicular (Wallace & Selman, 1980; Matsuyama et al., 1991). No obstante, en *P. laticlavus* la PF disminuyó durante la fase de hidratación de los ovocitos, similar a lo reportado en *Pagrus major* (Matsuyama et al., 1991), lo cual puede ser atribuido a la compactación que sufre la zona radiada interna después de la migración de la vesícula germinal, para dar lugar al rompimiento de la envoltura nuclear, lo que conlleva a la inminente hidratación y ovulación (Matsuyama et al., 1991; González-Castro & Minos, 2016).

Los melanomacrófagos o centros de melanomacrófagos (MMCs) son encontrados principalmente en el bazo, riñón e hígado de los peces (Agius, 1979; Agius & Roberts, 2003) y su función principal es la de catabolizar materiales celulares mediante fagocitosis (Agius & Roberts, 2003), y acelerar la reabsorción de estos. Sin embargo, son pocos los estudios que han reportado actividad de los MMCs en la gónada de los peces (Macchi, Romano & Christiansen, 1992; Ravaglia & Maggese, 1995; Agius & Roberts, 2003).

La gónada de *P. laticlavus* presentó una abundancia de MMCs en las fases de regeneración en las hembras y regresión en los machos, lo que indica posibles lesiones inflamatorias causadas por la formación de atresias (Agius & Roberts,

2003) generadas después del desove. La presencia de los MMCs en la gónada de *P. laticlavus*, tiene la función de degradar células atrésicas y folículos ovulados en las hembras, así como las células espermáticas residuales en los machos, tal como se ha reportado para *Synbranchus marmoratus* (Ravaglia & Maggese, 1995), lo cual ayuda al restablecimiento del ovario y/o testículo en el menor tiempo posible, para continuar con la maduración del próximo evento reproductivo. Análogamente, se ha visto en otros peces que la abundancia de estos agentes celulares podría estar relacionada con la edad de los organismos y por ende el desgaste tisular, debido a que con el envejecimiento de los individuos existe una mayor irrigación y consigo un incremento en el número de vasos sanguíneos (Agius 1981; Brown & George, 1985), estando estos asociados con la presencia de los melanomacrófagos (Agius, 1979).

La histoarquitectura general encontrada en las diferentes fases del desarrollo gonádico de *P. laticlavus* fue similar a la de *A. coeruleus* en hembras y machos, y a *Z. flavescens* únicamente para las hembras (Bushnell, 2007; Vilanova-Queiroz et al., 2018), cumpliendo con la mayoría de los criterios descritos por Brown-Peterson et al., 2011).

Por otra parte, en el análisis macroscópico de las gónadas, es probable que el morfocromatismo registrado sea un atributo de la diversidad alimenticia que el navajon cola amarilla posee, debido a que la dieta juega un papel fundamental en la fisiología de los organismos (Price et al., 2008) y *P. laticlavus*, es el herbívoro más eficiente en la región, siendo un ramoneador no selectivo (Montgomery et al., 1980; Arreola-Robles y Elorduy-Garay, 2002; Moreno-Sánchez et al., 2014). No obstante, la coloración de la gónada no ha sido considerada como determinante en las escalas de madurez debido a su gran variación, siendo la turgencia, vascularización y tamaño aspectos mas relevantes (Buitrón et al., 2015). Sin embargo, esta cualidad biológica presente en algunos organismos no debería ser omitida por completo, debido a que puede ser una característica complementaria en especies con amplias variaciones dentro de su escala de madurez, tal como ocurre

en *P. laticlavus*, donde algunas coloraciones pueden ser confundidas y asignadas erróneamente.

Las escalas de madurez gonádica son una herramienta importante y de fácil aplicación en el sector pesquero para la estimación de la condición reproductiva de los organismos (Kjesbu et al., 2003), lo que permite discriminar de manera visual a los organismos maduros de los inmaduros. Por lo tanto, debe contener información detallada de cada fase o estadio, con fotografías que ayuden a la identificación y la correcta asignación de las fases, así como la utilización del menor número de estas (Bromley, 2003). Además es importante la catalogación de las gónadas antes de su preservación para evitar sesgos en su coloración y textura (Sánchez et al., 2013).

Siguiendo los criterios descritos para la determinación de la madurez y fecundidad de peces y calamares de aguas cálidas y frías (Kjesbu et al., 2003), el presente estudio plantea una escala de cinco fases de madurez gonádica en *P. laticlavus* que incluye su fase de inmadurez, validadas mediante observaciones histológicas. Es importante mencionar, que la morfología gonádica en muchas especies no permite la diferenciación a simple vista de las hembras inmaduras con aquellas que se encuentran en “reposo” o “regeneración” (Domínguez-Petit, 2007), dificultando la identificación visual de adultos, subadultos y juveniles. Sin embargo, en *P. laticlavus* las hembras inmaduras presentan gónadas más pequeñas y de coloración translúcida, mientras que las maduras en regeneración, presentan una gónada de mayor tamaño y un espectro morfocromático que facilita su discriminación.

Por otra parte, el morfocromatismo que presentó *P. laticlavus* en tres de sus fases de desarrollo gonádico, contribuye a la diferenciación visual entre organismos maduros de inmaduros, siendo fases que por su coloración y textura las hace reconocibles en ambos sexos, mismas que previamente fueron histológicamente validadas. Sin embargo, con la finalidad de calibrar y validar esta escala para un uso estandarizado y minimizando sesgos, es importante que la presente escala de madurez sea corroborada entre países y/o con las demás especies pertenecientes al género, las cuales no han sido evaluadas (Ferreri et al., 2009).

Finalmente, la utilización de las evaluaciones macroscópicas y microscópicas en conjunto, permiten el establecimiento de una escala de madurez que validada correctamente podría convertirse en la principal herramienta de identificación de madurez (Sánchez et al., 2013).

## CAPÍTULO 3

---

**Biología reproductiva de *Prionurus laticlavus* en la costa sudoccidental del Golfo de California, México**



## INTRODUCCIÓN

La reproducción es un proceso biológico, complejo y esencial, estrechamente relacionado con la ecología y la dinámica poblacional en los peces arrecifales. Por ello, conocer las regularidades que rigen el ciclo reproductivo, es de vital importancia para establecer un manejo adecuado de los recursos marinos (Lagler et al., 1984). No obstante, los peces exhiben una gran diversidad de estrategias reproductivas, con el objetivo principal de maximizar la descendencia respecto a la energía disponible y la esperanza de vida de los padres (Murua, 2014).

Existen tácticas reproductivas determinantes que permiten comprender la estrategia reproductiva de las especies, tales como la temporada reproductiva, la talla de maduración sexual, la fecundidad y la estructura sexual poblacional (harem, parejas, hermafroditismo, etc.), que, en conjunto con las variables morfométricas y otros parámetros poblacionales, permiten evaluar las medidas de captura y evitar poner en riesgo el recurso (Arellano-Martínez et al., 2001; Hernández-Olalde, 2008; Lowerre-Barbieri *et al.*, 2011).

Entre las distintas estrategias sexuales que desarrollan los acantúridos (harenes, migraciones, territorialismos etc.) (p. ej. Randall, 1961; Robertson, 1983; Craig, 1998), se considera que factores ambientales como el fotoperiodo y la temperatura, actúan como reguladores de los sistemas glandulares, afectando sus funciones fisiológicas, procesos bioquímicos y comportamientos (Hernández-Olalde, 2008; Blaxter, 2010; Takemura et al., 2010; Estrada-Godínez et al., 2014), por lo que la evaluación de éstos junto con estudios morfológicos e histológicos permiten un mejor entendimiento de la biología reproductiva.

*Prionurus laticlavus* es una especie distribuida en la parte este central del océano Pacífico. Es de hábitos diurnos y desempeña un papel ecológico importante en el balance energético de las comunidades donde limita la distribución, abundancia y crecimiento algal (Thomson et al., 1979; Arreola-Robles & Elorduy-Garay, 2002). Considerando que los estudios sobre reproducción maximizan la importancia en el conocimiento de la estructura y dinámica poblacional (Vilanova-

Queiroz et al., 2018), además de permitir el establecimiento de mejores medidas de manejo para las especies con alguna importancia comercial, es pertinente hacer notar que aspectos básicos como la biología reproductiva de *P. laticlavus* aún no ha sido descrita, lo que genera preocupación al ser una especie explotada comercial y ornamentalmente.

El presente estudio contribuye al conocimiento de la biología de *P. laticlavus*, con la descripción de algunos aspectos de su biología reproductiva, tales como la proporción sexual, el ciclo reproductivo y la talla de madurez sexual en la costa sudoccidental del Golfo de California. El objetivo es proveer información para la protección y conservación del recurso.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### ***Caracterización gonadal y ciclo reproductivo***

El análisis biométrico de los organismos y el procesamiento histológico se describen en la sección 6.3 y 6.4, respectivamente. Los cortes histológicos se examinaron con un microscopio de luz, y a partir de la observación de la morfología gonadal se realizó la asignación de las fases de desarrollo gonádico de acuerdo con la escala propuesta por Brown-Peterson et al. (2011) y la estandarización de términos de Lowerre-Barbieri et al. (2011) para la descripción del desarrollo reproductivo en peces. Se determinaron organismos en fases de inmadurez, desarrollo, capacidad de desove, regresión y regeneración.

La descripción del ciclo reproductivo fue determinada analizando las frecuencias relativas de las diferentes fases del desarrollo gonádico obtenidas durante el periodo de muestreo.

### ***Índices morfofisiológicos***

Adicionalmente, como un indicador de la actividad reproductiva se calculó el índice gonadosomático (IGS), como una relación porcentual entre el peso de la gónada y el peso del organismo eviscerado en gramos (Sánchez-Cárdenas et al., 2011):

$$IGS = [PG/PE]x100$$

Donde:

PG es el peso de la gónada y PE el peso del organismo eviscerado.

La media mensual de los valores del IGS en conjunto con la observación histológica de las gónadas y la asignación de las fases de desarrollo gonadal, se utilizaron para determinar la temporada reproductiva (Erisman & Allen, 2006).

El índice hepatosomático (IHS), fue utilizado como índice indirecto del estado de madurez gonádico, debido a que provee información acerca de las reservas energéticas del organismo y de la síntesis de vitelogenina (Saderkarparwar & Parikh, 2013).

$$IHS = [PH/PE]x100$$

Donde:

PH es el peso del hígado

### **Grasa visceral**

La grasa almacenada en la cavidad celómica juega un papel importante en el almacenamiento de reservas energéticas (Body, 1989). Estas pueden estar asociadas al proceso gametogénico en los organismo, ya que estos cuerpos lipídicos presentan vasos sanguíneos, los cuales eventualmente se fusionarán con el sistema sanguíneo de la gónada (Fishelson et al., 1985). En *P. laticlavius* la grasa fue removida y pesada.

El índice de grasa visceral (IGv) se obtuvo de la relación entre peso del organismo eviscerado y el peso de la grasa visceral.

$$IGv = [PGv/PE]x100$$

Donde:

PGv es el peso de la grasa visceral

### ***Proporción de sexos y talla de primera madurez***

La proporción sexual fue analizada mensualmente y por clase de talla, utilizando el estadístico de prueba ji cuadrada ( $\chi^2$ ) para probar si la proporción de sexos fue significativamente diferente a la teórica 1:1 ( $P > 0.05$ ) (Zar, 2010).

La estimación de la talla de madurez sexual poblacional fue obtenida mediante la  $L_{50}$ , es decir, a la que el 50% de los organismos alcanzaron la madurez sexual. Con ayuda de la evidencia histológica se excluyeron los organismos inmaduros y se analizaron las frecuencias relativas y acumuladas de los organismos maduros, los cuales se encontraron en las fases de capacidad de desove, regresión y regeneración.

### ***Análisis estadísticos***

Para el análisis de la variación mensual de los índices morfofisiológicos, se utilizó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis, debido al comportamiento no normal de los datos. En el caso del IGS y el IHS, se analizó la relación de la temperatura mediante una correlación de Spearman para conocer la influencia que ésta denotaba en el ciclo reproductivo. Para la estimación de la madurez sexual se ajustó el modelo de regresión logística utilizando una variable de respuesta binomial y una variable explicativa cuantitativa. Fue necesaria la transformación de las probabilidades a la ecuación lineal denominada *Logit* (Ogle, 2013). Los intervalos de confianza ( $IC_{95\%}$ ) fueron estimados mediante el método *bootstrap* acelerado con corrección de sesgo y 1000 remuestras (Efron, 1987; Zar, 2010), y se procedió a su representación gráfica. Todas las pruebas estadísticas fueron realizadas mediante el programa R, con un nivel de confianza del 95% (R Core Team, 2019).

## RESULTADOS

### *Proporción sexual y estructura de tallas*

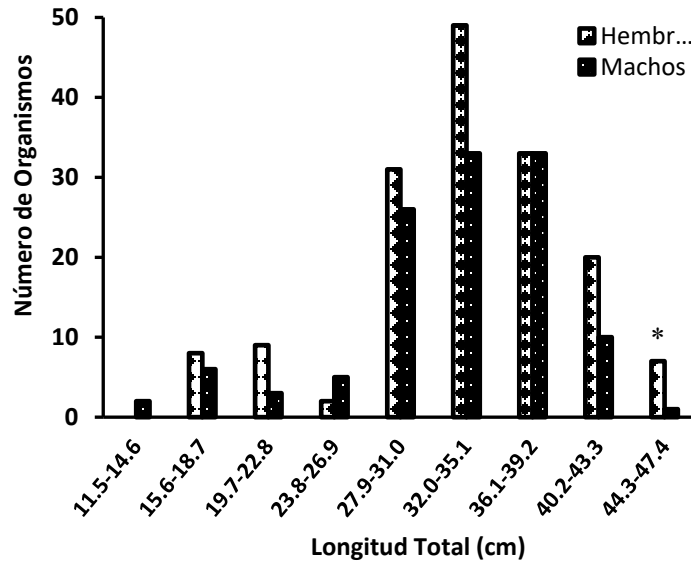
Se obtuvieron un total de 292 organismos, de los cuales 159 (54.4%) fueron hembras, 119 (40.8%) machos y 14 (4.8%) indeterminados. La proporción sexual total fue de 1.3H:1M, y fue significativamente diferente de la proporción esperada de 1:1 ( $\chi^2 = 5.75$ ,  $P = 0.01$ ). Por otra parte, se encontró que en octubre hubo un aumento significativo de machos respecto a hembras, mientras que en diciembre se observó la predominancia de hembras (Tabla 1).

Los organismos midieron entre 14.6 y 45.6 cm de longitud total ( $\bar{X} = 32.4$  cm  $\pm$  6.6 sd) y pesaron entre 73.4 y 1904.8 g de peso total (817.6 g  $\pm$  397.2). Las hembras presentaron tallas entre 16.0 a 45.6 (33.6  $\pm$  6.5) y los machos entre 14.6 y 43.4 (33.0  $\pm$  6.1).

**Tabla 1.** Frecuencias mensuales de hembras y machos de *Prionurus laticlavus*. El asterisco (\*) significa diferencia significativa de la proporción 1:1 ( $P < 0.05$ ).

Mes	Hembra	Macho	Total	$\chi^2$	$P$
Ago	13	6	19	2.57	0.1
Sep	9	9	18	0	1
Oct	8	18	26	<b>3.84</b>	<b>0.04*</b>
Nov	12	8	20	0.80	0.37
Dic	22	8	30	<b>6.53</b>	<b>0.01*</b>
Ene	15	10	25	1	0.31
Feb	3	3	6	0	1
Mar	13	15	28	0.14	0.70
Abr	14	9	23	1.09	0.29
May	16	9	25	1.96	0.16
Jun	19	12	31	1.58	0.20
Jul	15	12	27	0.33	0.56
Total	159	119	278		

La proporción sexual por talla mostró que en el intervalo de longitud de 44.3-47.4 hubo significativamente más hembras que machos ( $\chi^2 = 4.50$ ,  $P = 0.03$ ) (Figura 1).



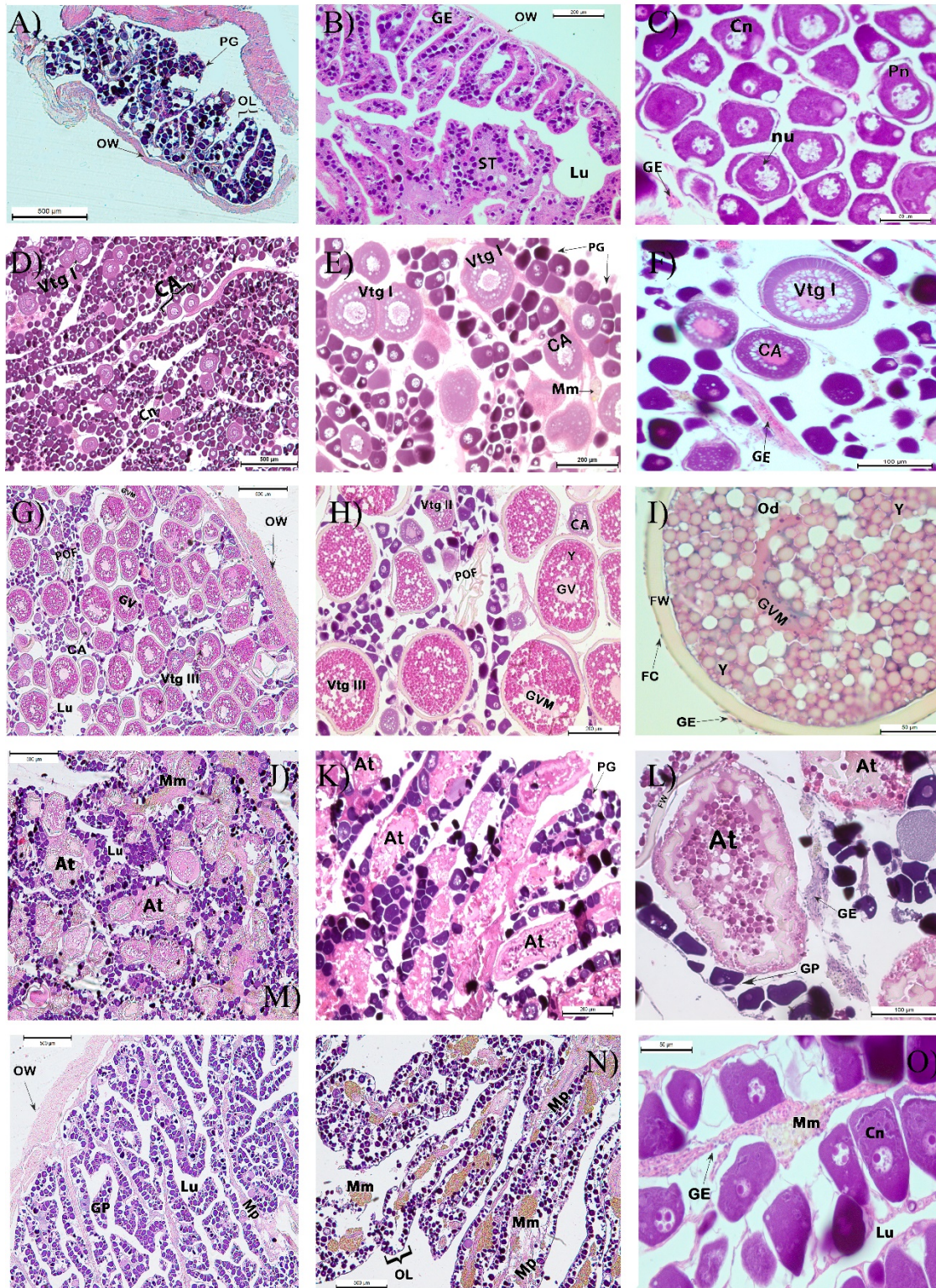
**Figura 1.** Proporción sexual por tallas de *Prionurus laticlavus* en el Golfo de California, BCS, México. El asterisco (\*) significa diferencia significativa.

### **Fases de desarrollo gonádico**

#### **Hembras**

De acuerdo con las observaciones histológicas en las hembras de *P. laticlavus*, se encontraron las cinco fases de desarrollo: **Inmaduro** (7.7%), fase característica por la presencia de células en crecimiento primario (GP) como cromatina nucleolar (Cn) y perinucleolares (Pn), lamelas ovígeras (OL) bien definidas y una pared folicular (FW) delgada; **Desarrollo** (4.5%), identificada a partir de la aparición continua de ovocitos en alvéolo cortical (CA), incremento de inclusiones lipídicas y ovocitos en vitelogénesis primaria (Vtg I) y secundaria (Vtg II); **Capacidad de desove** (19.3%), fase caracterizada por el evidente aumento celular gracias al progresivo proceso vitelogénico, encontrando ovocitos en vitelogénesis terciaria (Vtg III) y vesícula germinal en migración hacia el polo animal (VGM); **Regresión** (11.7%), identificada por la presencia de abundantes atresias (At) a diferentes niveles y los evidentes espacios entre ovocitos, y finalmente la fase de **Regeneración** (56.8%), cuya característica principal fue la presencia de ovocitos en crecimiento primario (GP), algunas atresias (At), paquetes musculares (Pm) y melanomacrófagos (Mm) dentro las lamelas ovígeras (Lo), además de una pared folicular (FW) muy gruesa (Figura 2).





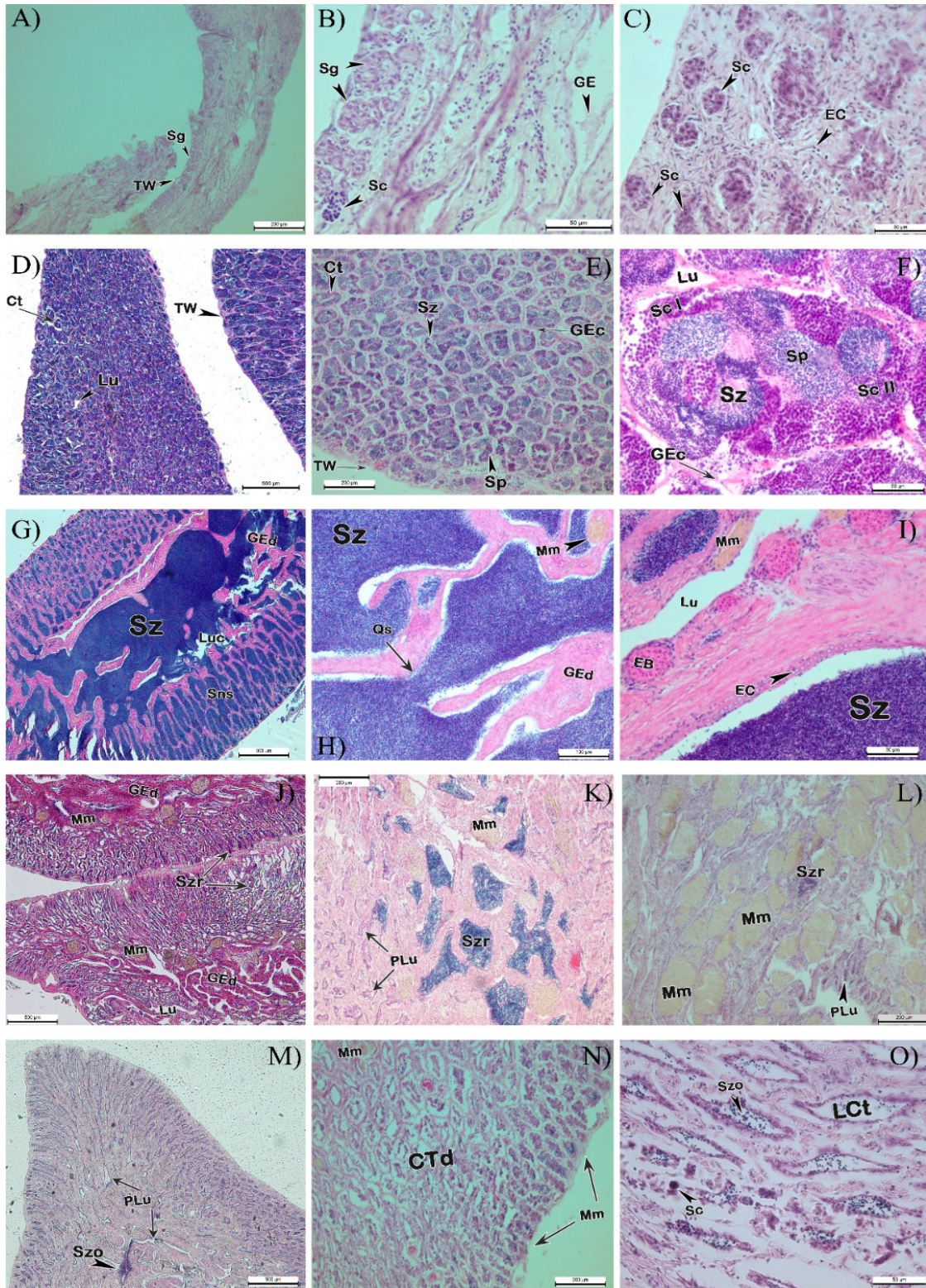
**Figura 2.** Microfotografía de los componentes ováricos de *Prionurus laticlavius* en las distintas fases de desarrollo. A-C) inmaduro, D-F) desarrollo, G-I), capacidad de desove, J-L) regresión y M-O) regeneración. WO= pared ovárica, OL= lamela ovígera, GP= ovocitos en crecimiento primario, GE=

epitelio germinal, ST= estroma, Lu= lumen, Cn= cromatina nucleolar, Pn= perinucleolar, CA= alveolo cortical, Vtg I= vitelogénesis primaria, Mm= melanomacrófagos, POF= folículo post-ovulatorio, Vtg II= vitelogénesis secundaria, Vtg III= vitelogénesis terciaria, VG= vesícula germinal, VGM= vesícula germinal en migración, Y= vitelo, FW= pared folicular, FC= células foliculares, Od= gotas lipídicas, At= atresia y Pm= paquetes musculares.

### **Machos**

La histoarquitectura testicular en los machos de *P. laticlavius* permitió distinguir y clasificar las cinco fases del desarrollo gonádico, siendo la fase **Inmaduro** (5.9%) caracterizada por la presencia de espermatogonias (Sg) en la mayor parte del tejido y una pared testicular (TW) delgada; la fase **Desarrollo** (10.0%) por la presencia de espermátocitos primarios (Sc I) y secundarios (Sc II), así como espermátidas (Sp), algunos espermatozoides (Sz) y un epitelio germinal organizado y continuo (GEc); la **Capacidad de Desove** (47.9%) fue distinguida por la presencia de abundantes espermátidas (Sp) y espermatozoides (Sz) en el lumen central de los lóbulos (Lu), cistos completamente llenos de Ez, quiasmas (rompimiento de cistos) evidencia un inminente desove y un epitelio germinal discontinuo (GE<sub>d</sub>) hacia el lumen y continuo (GEc) hacia la periferia; la fase de **Regresión** (18.5%) se caracterizó debido a los espermatozoides residuales presentes en los ductos y senos espermáticos, la nula actividad espermática, melanomacrófagos (Mm) en lumen central y la apariencia desorganizada del tejido; mientras que la fase de **Regeneración** (15.1%) fue caracterizada por la proliferación de espermatogonias (Sg), espermatozoides ocasionales en lóbulos, la ausencia de espermátocitos (Sc) y un prototipo de lumen (Lu) (Figura 3).

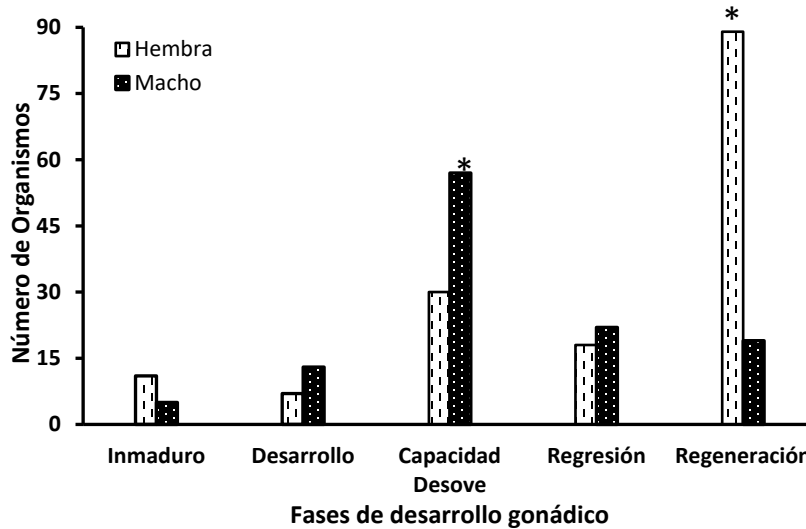




**Figura 3.** Microfotografía de los componentes testiculares de *Prionurus laticlavius* en las distintas fases de desarrollo. A-C) inmaduro, D- F) desarrollo, G-I), capacidad de desove, J-L) regresión y M- O) regeneración. TW= pared testicular, Sg= espermatogonia, Sc= espermatocito, Sc I=

espermatocono primario, Sc II= espermatocono secundario, Sp= espermátida, Sz= espermatozoide  
 GE= epitelio germinal, GEc= epitelio germinal continuo, GEd= epitelio germinal discontinuo EC=  
 células epiteliales, Ct= cisto o cripta, Lu= lumen, Luc= lumen central, LCt= lumen de cisto, Sns=  
 senos espermáticos, Qs= quiasmas, Mm= melanomacrófagos, EB= células sanguíneas, Szr=  
 espermatozoides residuales, PLu= prototipo de lumen, Szo= espermatozoides ocasionales y TCd=  
 tejido conectivo desorganizado.

Entre las fases de desarrollo, la fase capacidad de desove ( $\chi^2 = 8.33$ ,  $P = 0.003$ ) y regeneración ( $\chi^2 = 45.37$ ,  $P = 1.63^{11}$ ) mostraron diferencias significativas entre sexos en comparación con las fases restantes (Figura 4).

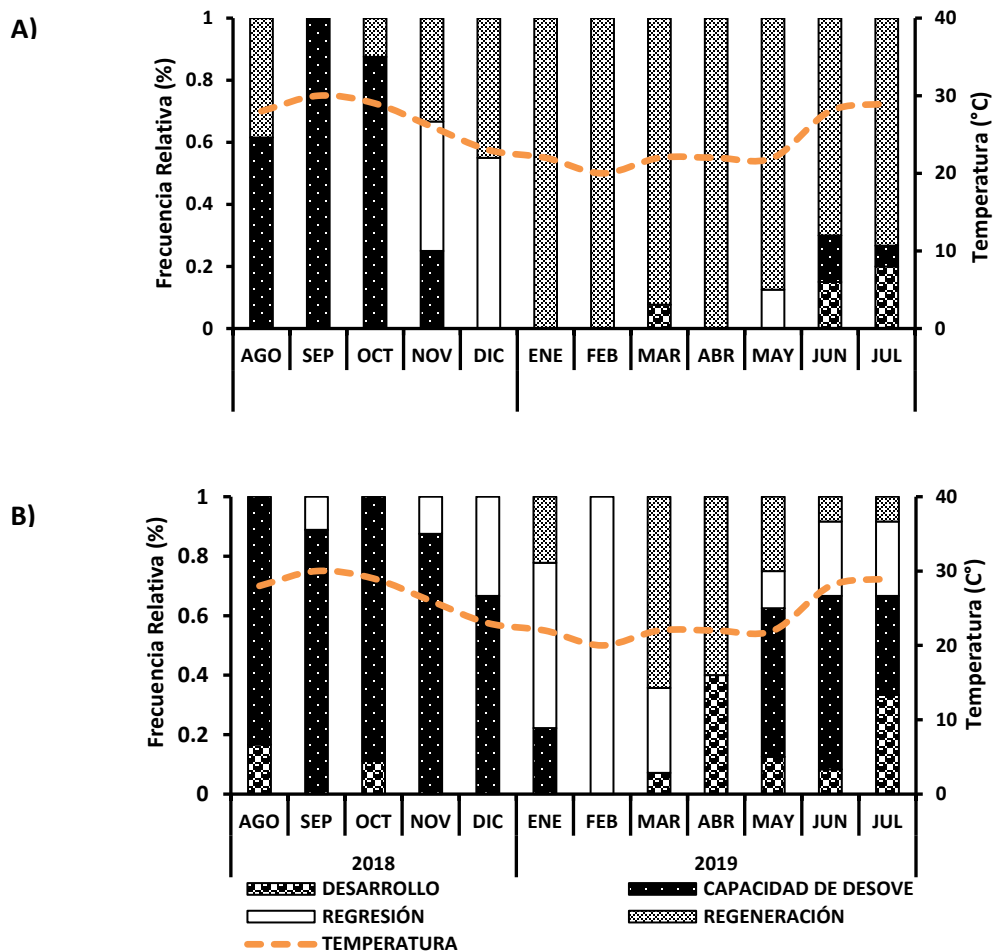


**Figura 4.** Frecuencia de organismos por sexos y fases de desarrollo gonádico de *Prionurus laticlavus* en el Golfo de California, BCS, México. El asterisco (\*) significa diferencia significativa.

### **Ciclo reproductivo**

En la figura 5 se presentan las frecuencias de las fases de desarrollo gonádico de hembras y machos de *P. laticlavus* durante el periodo de estudio. Las hembras en fase de desarrollo se presentaron en marzo, junio y julio, pero en bajas frecuencias (8 y 20%), mientras que en los machos fue más prolongado, con organismos en desarrollo desde marzo hasta octubre (excepto septiembre), con la mayor frecuencia en abril (40%) y julio (38%). Las hembras en fase de capacidad de desove se presentaron de junio a noviembre, con las mayores frecuencias de

agosto a octubre (entre 61 y 100%). En los machos esta fase se presentó de mayo a enero, con las más altas frecuencias de agosto a diciembre (entre 82 y 100%). Las hembras en fase de regresión solo se presentaron en tres meses, con las mayores frecuencias en noviembre y diciembre (40 y 58%, respectivamente), mientras que los machos se presentaron en casi todos los meses, pero con las mayores frecuencias en enero y febrero (56 y 100%, respectivamente). Las hembras en la fase de regeneración se encontraron en todos los meses excepto septiembre, con las mayores frecuencias de enero a julio (entre 73 y 100%). Los machos en regeneración se presentaron en enero y de marzo a julio, con las más altas frecuencias en marzo y abril (62 y 60%, respectivamente).

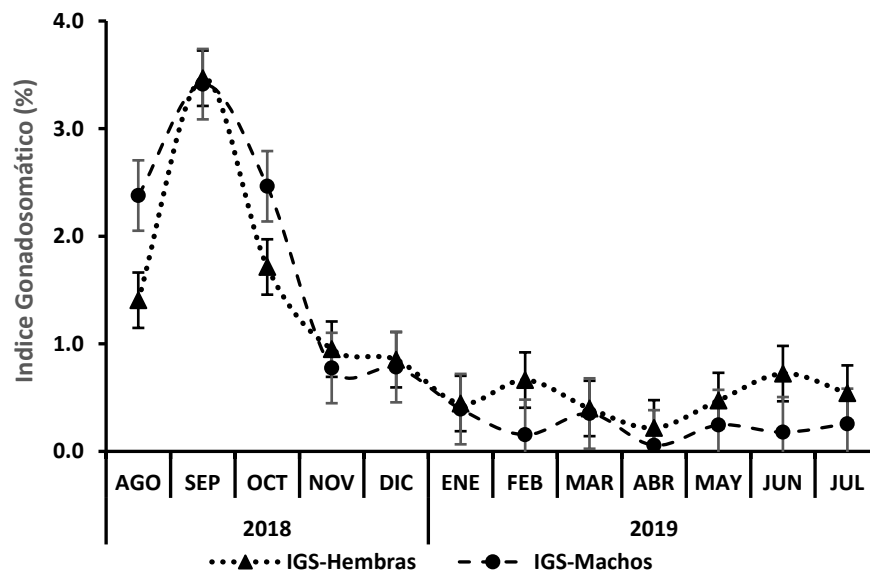


**Figura 5.** Ciclo reproductivo con distribución de frecuencias de las fases del desarrollo gonádico de *Prionurus laticlavus* y su relación con la temperatura en el Golfo de California, BCS, México. A) Hembras y B) Machos.



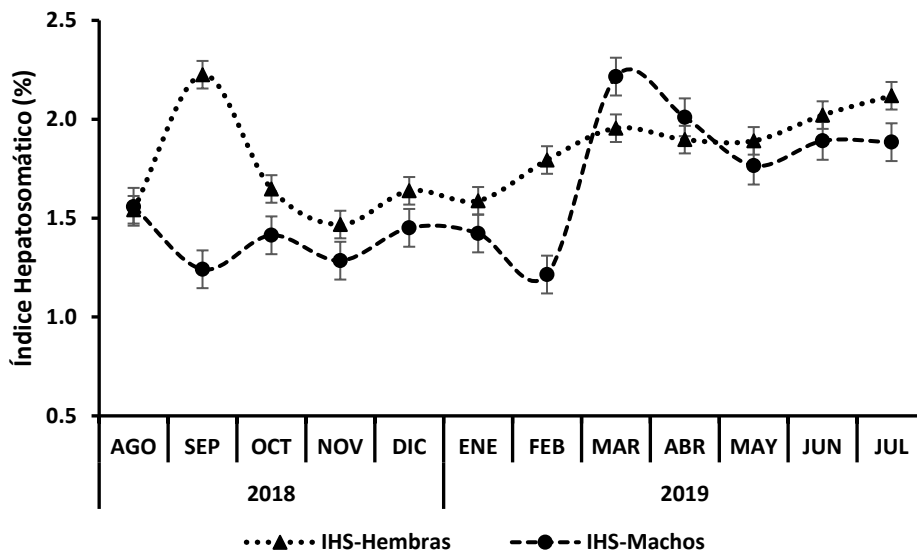
### Índices morfofisiológicos y su relación con la temperatura

La variación mensual del IGS fue similar entre hembras y machos. El IGS se incrementa desde agosto (2.37%, 1.40%, respectivamente), con el valor más alto en septiembre, tanto en hembras (3.46%) como en machos (3.41%). En octubre comienzan a disminuir hasta llegar a los valores más bajos en abril (0.21% y 0.05%, respectivamente). De mayo a julio los valores se mantienen entre 0.47% y 0.54% para hembras y entre 0.24% y 0.25% para machos, con una disminución en junio (0.17%) (Figura 6).



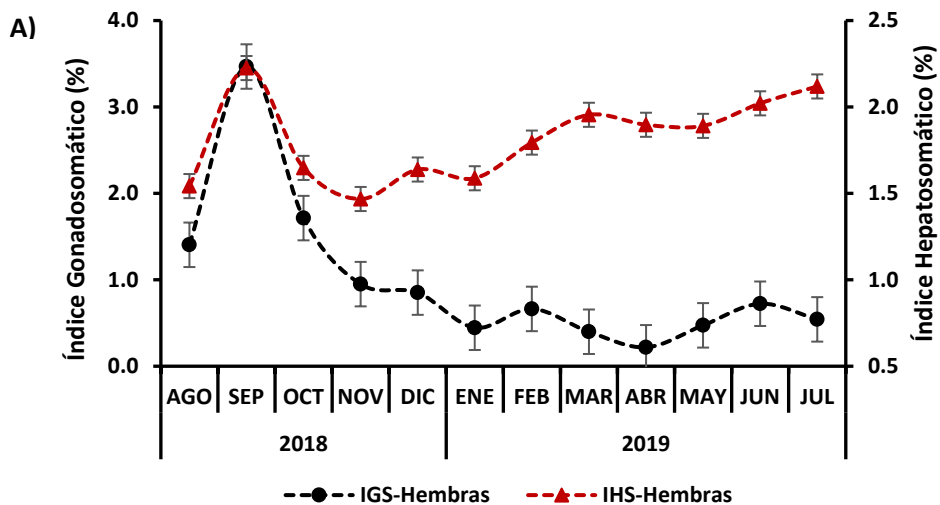
**Figura 6.** Evolución mensual del IGS en hembras y machos de *Prionurus laticlavatus* en el Golfo de California, BCS, México. Las barras indican el error típico, triángulos: hembras, círculos: machos.

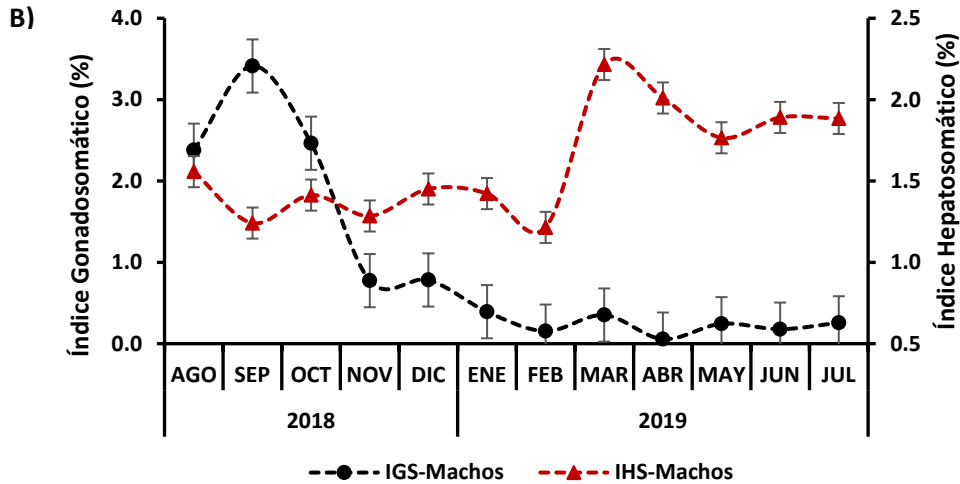
El IGS de las hembras presentó los valores más bajos durante los meses de agosto a enero, excepto en septiembre en donde registró su valor máximo (2.22%). En los machos la tendencia fue similar, con valores bajos de agosto a febrero (1.55% a 1.21%). Sin embargo, a partir de febrero el IGS en ambos sexos se incrementó, el cual fue gradualmente en las hembras y abruptamente en los machos (Figura 7).



**Figura 7.** Evolución mensual del IHS en hembras y machos de *Prionurus laticlavius* en el Golfo de California, BCS, México. Las barras indican el error típico, triángulos: hembras, círculos: machos.

Por otra parte, el IGS e IHS de hembras y machos de *P. laticlavius*, mostraron una correlación moderadamente negativa ( $R = -0.559$  y  $-0.447$ , resp.) (Figura 8).

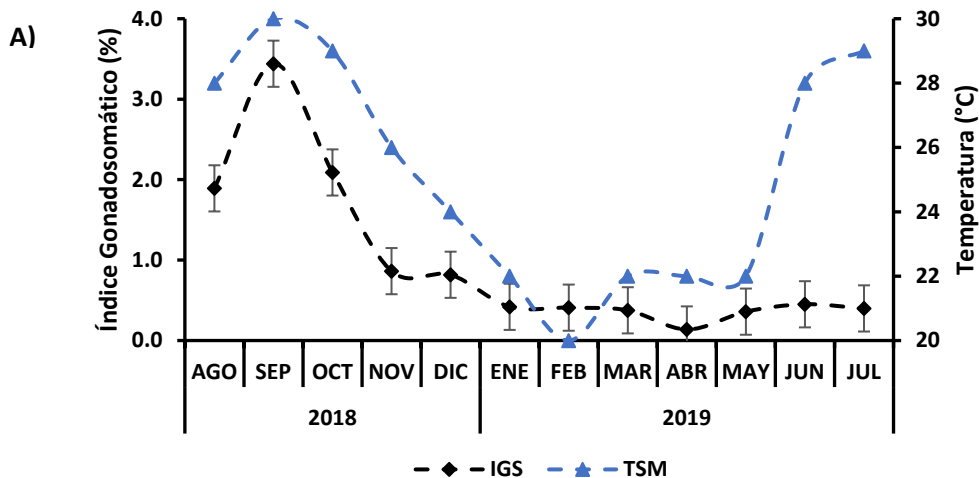


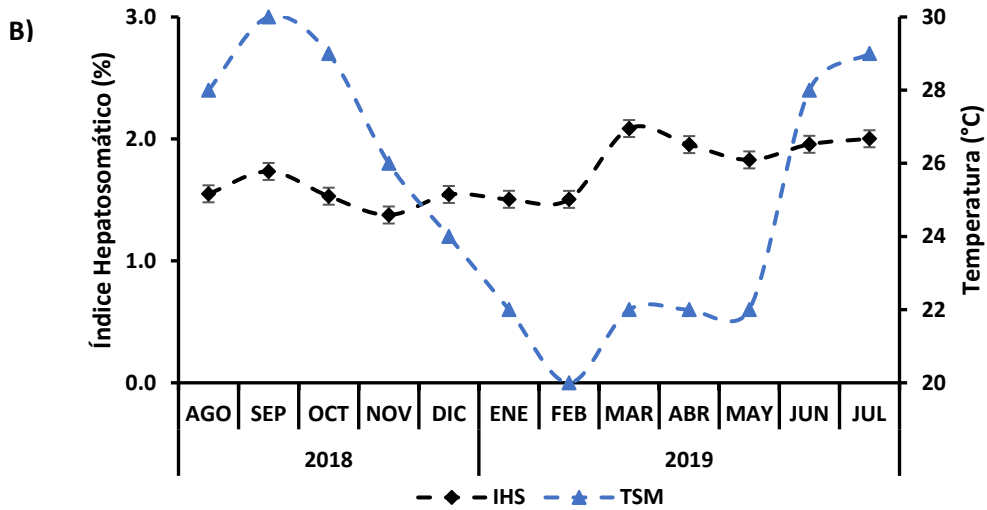


**Figura 8.** Relación mensual entre el IGS y IHS por sexos en organismos de *Prionurus laticlavius* en el Golfo de California, BCS, México. A) Hembras, B) Machos. Las barras indican el error típico.

### **Relación de la temperatura del agua con el IGS y el IHS**

La temperatura del agua fue más alta en agosto y septiembre (28 y 30 °C, respectivamente). A partir de octubre descendió hasta llegar a la mínima en febrero (20 °C). En los siguientes meses se incrementa hasta llegar a su valor máximo en julio (29 °C). Al relacionar la temperatura con ambos índices morfofisiológicos, se encontró que los meses más cálidos coinciden con los valores más altos del IGS y el IHS. Sin embargo, solo el IGS tuvo una correlación positiva significativa con la temperatura del agua ( $R= 0.76$ ,  $P = 0.004$ ) (Figura 9).

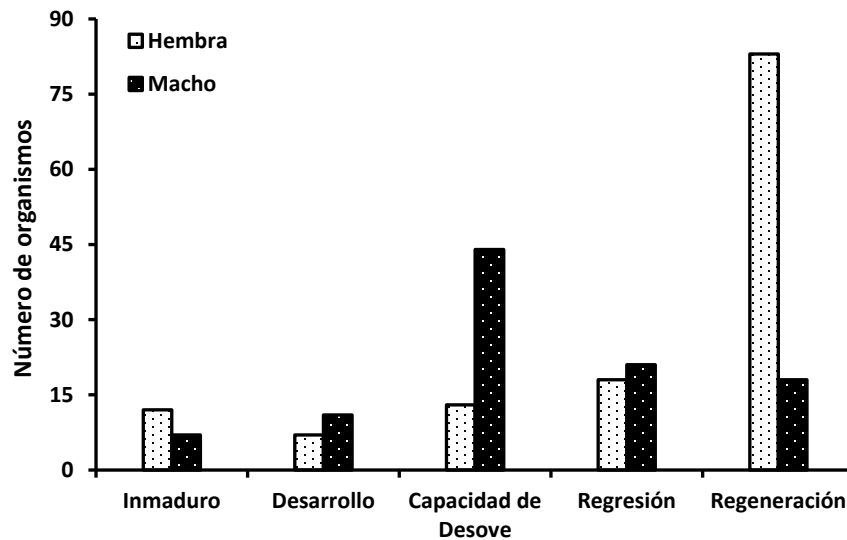




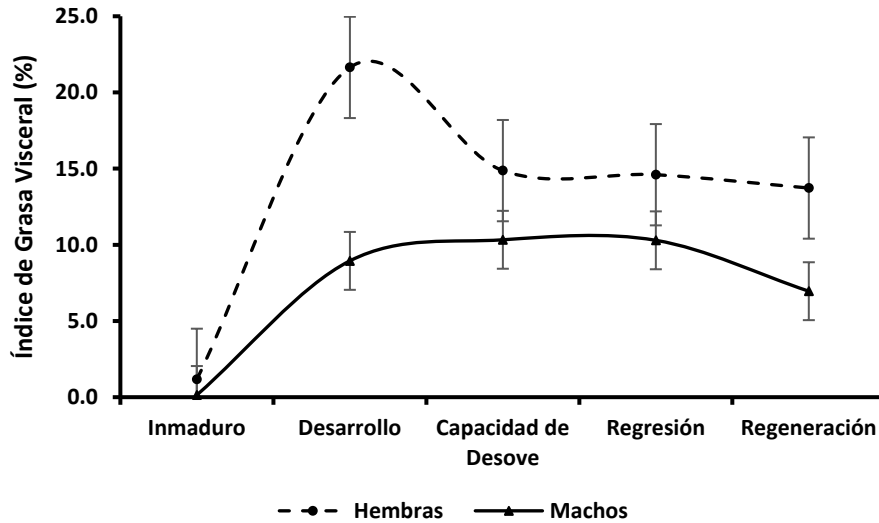
**Figura 9.** Relación mensual entre el IGS, IHS y la TSM en organismos de *Prionurus laticlavius* en el Golfo de California, BCS, México. A) IGS, B) IHS. Las barras indican el Error típico.

### Índice de grasa visceral

La grasa visceral en *P. laticlavius* estuvo asociada principalmente al intestino y la gónada en 252 organismos, en las cinco fases de desarrollo. Esta grasa fue constante en las fases de capacidad de desove (machos) y regeneración (hembras) (Figura 10). Sin embargo, su proporción fue mayor en la fase de desarrollo (Figura 11).



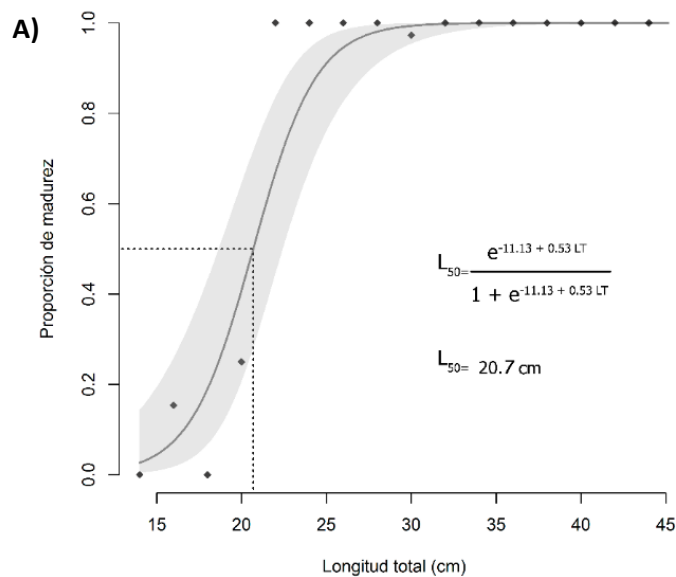
**Figura 10.** Frecuencia de aparición de la grasa visceral en *Prionurus laticlavius* de la costa sudoccidental del Golfo de California, BCS, México.



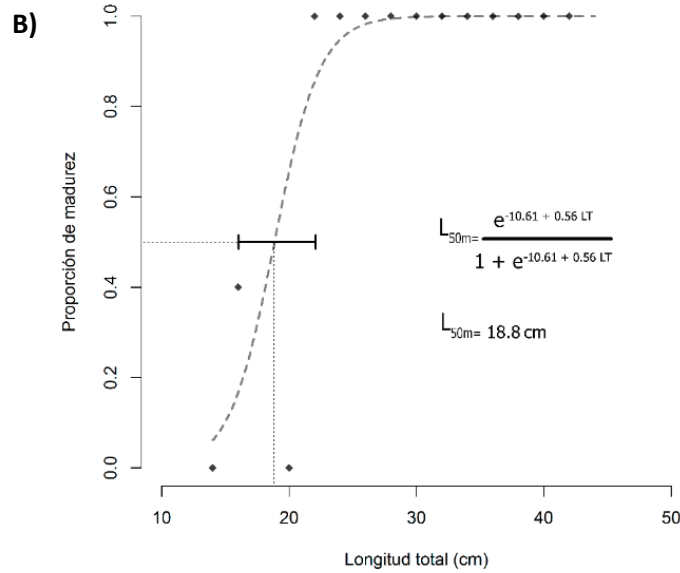
**Figura 11.** Proporción de grasa visceral registrada durante las fases de desarrollo gonádico de *Prionurus laticlavus* en la costa sudoccidental del Golfo de California, BCS, México.

### **Talla de madurez sexual**

La talla de madurez sexual poblacional de *P. laticlavus* fue a los 20.7 cm de LT, talla donde el 50% de los organismos se encuentran sexualmente maduros. Por otro lado, la talla a la que la mitad de los machos alcanzan la madurez sexual fue a los 18.8 cm de LT (Figura 12); en el caso de las hembras, no pudo ser estimada, debido a la ausencia de hembras pequeñas.







**Figura 12.** Talla de madurez sexual de *Prionurus laticlavus* en el Golfo de California, BCS, México. A) Poblacional, B) Machos.

## DISCUSIÓN

La población de *P. laticlavus* de la costa sudoccidental del Golfo de California evidenció un mayor número de hembras respecto a machos, tal como ha sido reportado en *Acanthurus triostegus sandvicensis* (Longenecker et al., 2008), *Ctenochaetus strigosus* (Langston et al., 2009) y *A. coeruleus* (Vilanova-Queiroz et al., 2018), en contraste con *Zebrasoma flavescens* (Claisse et al., 2009) la cual presentó un mayor número de machos. No obstante, esta variabilidad puede ser no sólo un atributo de la especie, sino un sesgo del arte de pesca (Marshall, 1958). Además, otra característica importante que podría hacer variar la proporción sexual en las especies es la profundidad de las capturas, que trae consigo diferentes tallas, cada una asociada a un hábitat particular, comportamiento reportado en *Z. flavescens* (Claisse et al., 2009). Sin embargo, en el caso de *P. laticlavus*, es probable que la profundidad no sea un factor determinante en su proporción sexual, debido a que esta especie es encontrada en grupos que presentan diferentes tallas los cuales se encuentran a diferentes profundidades, además de estar mayormente

asociado al hábitat rocoso (Thomson et al., 2000); por lo tanto, no presentan segregaciones (Moreno-Sánchez et al., 2014).

Con relación a la proporción sexual por tallas, se encontró que las hembras de *P. laticlavius* alcanzan mayores tallas que los machos, presentando un dimorfismo sexual denominado macroginia (Robertson, 1985) similar a varias especies de acantúridos. Sin embargo, el tipo de dimorfismo sexual más común en los acantúridos es la macroandria (Tabla 2).

**Tabla 2.** Tipos de dimorfismo sexual por talla presente en varias especies de acantúridos

<b>Especies</b>	<b>Dimorfismo sexual</b>	<b>Autores</b>
<i>Zebrasoma scopas</i>	Macroandria	(Robertson, 1985)
<i>Zebrasoma flavescens</i>	Macroandria	(Claisse et al., 2009)
<i>Ctenochaetus strigosus</i>	Macroandria	(Robertson, 1985)
<i>C. striatus</i>	Macroandria	(Robertson, 1985)
<i>Naso lituratus</i>	Macroandria	(Robertson, 1985)
<i>Acanthurus nigricaudus</i>	Macroandria	(Robertson, 1985)
<i>A. nigrofuscus</i>	Macroandria	(Robertson, 1985)
<i>Z. veliferum</i>	Macroginia	(Robertson, 1985)
<i>A. leucosternon</i>	Macroginia	(Robertson, 1985)
<i>A. glaucoparietus</i>	Macroginia	(Robertson, 1985)
<i>Prionurus laticlavius</i>	Macroginia	(Presente estudio)

La razón por la que se presentó un aumento significativo de machos en octubre y hembras en diciembre no es muy clara, pero podría relacionarse a la macroginia de la especie y la proporción sexual sesgada hacia las hembras, o a cambios en la dieta, debido a que durante el invierno existen una proliferación de algas rojas, pardas y verdes de las que se alimenta *P. laticlavius* (Moreno-Sánchez et al., 2014).

La evaluación de la histoarquitectura gonádica permitió observar que *P. laticlavius* es una especie con desarrollo gonádico asincrónico, que realiza desoves parciales durante una temporada reproductiva relativamente larga, evidencia dada por la presencia de FPO en distintos meses, similar a lo reportado en *C. strigosus* (Langston et al., 2009). Este periodo reproductivo en *P. laticlavius* (jun-nov) fue concordante en el número de meses de actividad reproductiva con *A. coeruleus* (ago-ene) (Vilanova-Queiroz et al., 2018), coincidiendo con septiembre como el mes

con mayor incremento de la fase de capacidad de desove. Esto indica que *P. laticlavius* tiene mayor actividad durante el verano, lo que coincide con las temperaturas más cálidas registradas durante el periodo de estudio. Por ello, la temperatura representa un factor ambiental estrechamente relacionado con el evento reproductivo, tal como ha sido reportado en *A. coeruleus* (Vilanova-Queiroz et al., 2018), *Z. flavescens* (Bushnell, 2007) y otros teleósteos (Brouwer & Griffiths, 2005; Hernández-Olalde, 2008).

Por otra parte, las hembras de *P. laticlavius* presentaron un ciclo reproductivo delimitado, similar a lo encontrado en *A. nigrofuscus* (Fishelson et al., 1987) concordando en la existencia de tres estaciones. El invierno es la temporada en la que ocurre la recuperación de la gónada después de un evento reproductivo, la primavera el inicio o reactivación del proceso gametogénico y el verano cuando ocurre la ovulación y expulsión de los gametos (Fishelson et al., 1987).

La evolución mensual del IGS fue inversamente proporcional al IHS en *P. laticlavius*, lo cual se atribuye a la transferencia de energía y de reservas lipídicas por parte del hígado hacia la gónada, con la finalidad de contribuir al proceso gametogénico, así como la síntesis de algunas lipofosfoproteínas fabricadas en el hígado durante el periodo reproductivo. Estos procesos se asocian con la reducción del IHS (Rodríguez et al., 2001).

Fishelson et al. (1985) evaluaron tres organismos de *P. laticlavius* en los cuales la grasa se encontró en la parte posterior de la cavidad abdominal (retroperitoneo). No obstante, en el presente estudio la grasa se encontró en su mayoría cubriendo la porción dorsal del intestino, incluso en contacto con la gónada. Esta grasa intestinal estuvo presente en las cinco fases de desarrollo gonádico. Sin embargo, en las hembras su proporción fue mayor durante la fase de desarrollo, coincidiendo con Fishelson et al. (1985) y DeMartini et al. (2014); estos paquetes lipídicos funcionan como un depósito de energía durante el inicio del desarrollo gonádico, y al entrar al proceso de maduración cuya demanda energética es mayor, la proporción de grasa comienza a disminuir. En los machos de *P. laticlavius* ocurre

de manera similar, sin embargo, no se evidencia un cambio tan abrupto como en las hembras.

Respecto a la grasa presente en las demás fases de desarrollo, esto puede ser una estrategia desarrollada por la especie para ayudar a la gónada a recuperarse después del evento reproductivo, utilizando la energía almacenada en estos paquetes lipídicos. Aunado a lo anterior, en *A. nigrofuscus* se encontró que la grasa está asociada al cambio de dieta que realiza este organismo durante su ciclo reproductivo, alternando de pequeñas algas pardas y rojas durante el verano a grandes algas verdes en el invierno, como una posible estrategia de almacenamiento de energía en forma de grasa (Fishelson et al., 1987). Un comportamiento similar fue registrado en *P. laticlavus*, la cual presenta un cambio estacional en la proporción de su dieta, alimentándose durante el invierno de grandes cantidades de algas rojas y verdes, y en menor grado de algas pardas, mientras que, en el verano, su proporción se ve abruptamente disminuida (Moreno-Sánchez et al., 2014). No obstante, el presente trabajo no permite confirmar que el cambio en la proporción de la dieta favorece o limita el incremento de la grasa intestinal, aunque sí es posible confirmar su participación durante el desarrollo gonádico mediante el aporte de energía.

La talla de primera madurez sexual sugerida para *P. laticlavus* ha sido de 14 cm de LT (Trujillo-Millán, 2009). Sin embargo, esta medida fue obtenida de un estudio de reclutamiento de peces (incluido *P. laticlavus*), el cual fue basado en otolitos para estimar el crecimiento somático. Por lo tanto, esta medida carece de herramientas histológicas que apoyen la madurez sexual de estos organismos, con posibles errores de estimación acerca de su población reproductora. En el presente trabajo, la talla de madurez sexual de *P. laticlavus* fue establecida a los 20.7 cm de LT. Esta talla es similar a la de *Acanthurus lineatus*, que alcanza la madurez sexual a los 18.0 cm LF (Froese & Pauly, 2020).

## 8. DISCUSIÓN INTEGRATIVA

La presente investigación contribuye al conocimiento de la biología de *Prionurus laticlavus* abordando el tipo de crecimiento y aspectos reproductivos en la costa sudoccidental del Golfo de California. Mediante la exploración de cada uno de los capítulos que integran este trabajo, se puede obtener una perspectiva general sobre los aspectos biológicos previamente mencionados y sus implicaciones.

La estimación de la relación peso-longitud y factor de condición son herramientas útiles en la evaluación de los recursos pesqueros, permiten conocer el grado de condición y bienestar de los organismos, además de proveer información sobre los cambios que éstos puedan sufrir durante su crecimiento corporal (Costa & Araujo, 2003). Para conocer el tipo de crecimiento de *P. laticlavus* fue necesario tomar en cuenta las recomendaciones de Froese (2006) y Renán et al. (2014) para la obtención de una buena estimación o la minimización de los errores que la limitan. Entre éstas se encuentran la identificación de “estancias de crecimiento”, principalmente durante las primeras etapas de desarrollo y al alcanzar la madurez sexual (Jellyman et al., 2013). Las estancias de crecimiento, suelen ser los cambios abruptos o puntos de inflexión presentes en el crecimiento de los organismos durante su ciclo de vida, los cuales se ven asociados a cambios ontogénicos de la dieta, las fases de desarrollo, la madurez sexual y la senectud (Choat & Axe, 1996; Jellyman et al., 2013; Renán et al., 2014). Otro aspecto importante, es la separación de los organismos y su análisis por fases de desarrollo, lo que favorece una buena estimación del tipo de crecimiento.

En el capítulo 1 se describe la relación peso-longitud y factor de condición de *P. laticlavus* evaluada en cinco categorías (general, adulto, juvenil, sexo, temporada). Las recomendaciones previamente mencionadas permitieron conocer el crecimiento diferencial que existe entre juveniles y adultos (alométrico positivo y negativo, respectivamente), ya que, al realizar un análisis general con ambas etapas de desarrollo, el tipo de crecimiento registrado fue isométrico; esto ocurre por el enmascaramiento de las “estancias de crecimiento” presentes lo que implica sub o sobreestimaciones de estos parámetros (Fulton, 1904). El reconocer las diferencias

de crecimiento existentes durante el ciclo de vida de las especies es fundamental para estimaciones exitosas, ya que como sucede en acantúridos, quienes presentan un crecimiento particionado, su estimación demográfica podría tener implicaciones si no se realiza con el debido cuidado el análisis de crecimiento en función con la edad (Choat & Axe, 1996).

Por otra parte, gracias a la evaluación de la histoarquitectura de las gónadas de *P. laticlavius* fue posible el establecimiento de una escala morfocromática de madurez sexual validada histológicamente, como una herramienta de fácil aplicación para conocer el estado de madurez de los organismos (capítulo 2). Para la realización de dicha escala se consideraron los criterios descritos en la reunión de trabajo para la evaluación y determinación de la madurez sexual (Kjesbu et al., 2003), así como la catalogación de las gónadas antes de su preservación para evitar errores (Sánchez et al., 2013). La escala integra cinco fases de desarrollo (inmaduro, desarrollo, capacidad de desove, regresión y regeneración). El morfocromatismo fue observado únicamente en las últimas tres fases posiblemente asociado a la dieta de la especie, ya que *P. laticlavius* presenta una elevada diversidad de ítems alimenticios (Moreno-Sánchez et al., 2014), y esto es fundamental en la fisiología de los organismos (Price et al., 2008). Análogamente, mediante la evaluación histológica del ovario del navajón barbero, se elaboró una escala del crecimiento ovocitario con la medición de los diámetros en cada etapa, incluido el grosor de la pared folicular en cada una de éstas, con un total de nueve etapas divididas en tres fases.

Por su parte, en el capítulo 3 se evaluó algunos aspectos reproductivos de *P. laticlavius*, tales como el ciclo reproductivo, la proporción sexual y la talla de madurez sexual. La población evaluada de *P. laticlavius* evidenció una mayor proporción de las hembras respecto a los machos, además que éstas alcanzan mayores tallas y desarrollan un dimorfismo macrogínico. Este tipo de dimorfismo no es tan común entre cirujanos ya que domina la macroandria (Robertson, 1985). La evaluación histológica permitió confirmar que *P. laticlavius* es una especie gonocórica con desarrollo gonádico asincrónico y un desovador parcial, que

presenta una actividad reproductiva los meses de junio a noviembre asociándose con las temperaturas más cálidas del año, lo que confirma que los factores exógenos, principalmente la temperatura determina el ciclo reproductivo de muchas especies (Brouwer & Griffiths, 2005; Vilanova-Queiroz et al., 2018), lo cual fue apoyado por el índice gonadosomático. Por otra parte, la variación del índice hepatosomático sugiere que el hígado aporta energía a la gónada durante el proceso gametogénico (Rodríguez et al., 2001) al igual que la grasa visceral (Fishelson et al., 1987), mientras que los melanomacrófagos actúan como agentes de reabsorción para la regeneración de la gónada (Agius & Roberts, 2003). Por otra parte, la talla de madurez sexual de *P. laticlavus* fue alcanzada a los 20.7 cm de longitud total, talla a la que el 50% de la su población se encuentra madura sexualmente.

Finalmente, la generación de conocimiento mediante la evaluación de los aspectos biológicos en las especies permite desarrollar estrategias con el objetivo de la protección y conservación de los recursos marinos de importancia comercial, así como brindar herramientas que contribuyen a la implementación o mejoras de planes de manejo. Los resultados de esta investigación pueden ser considerados como una línea base en la biología de la especie dada la poca información con la que se cuenta actualmente, y una herramienta complementaria para futuras investigaciones.

## 9. CONCLUSIONES GENERALES

La información obtenida a partir del desarrollo de esta investigación permitió ampliar significativamente el conocimiento acerca de la biología de *P. laticlavius*, en los siguientes aspectos:

- Describir el tipo de crecimiento de *P. laticlavius* confirmó la importancia de conocer las diferencias somáticas que pueden desarrollar los organismos en cada etapa de crecimiento, debido a la presencia de los tres tipos de crecimiento en *P. laticlavius* (Isometría, alometría negativa y positiva), cuya explicación reside en la existencia de puntos de inflexión o estancias de crecimiento asociadas a ciertas tallas que modifican el crecimiento mismo, por lo que la separación y tratamiento independiente de cada una de éstas, permite una mejor interpretación y estimación del crecimiento de las especies, evitando sub o sobreestimaciones con posibles repercusiones en su manejo. Además, el uso complementario del factor de condición representa una herramienta en el conocimiento del estado de salud de los organismos, así como de los mecanismos implicados por cada especie, en *P. laticlavius*, se encontró un buen estado de salud durante todo el año, y la utilización de grasa almacenada como un reservorio energético para su posterior requerimiento.
- La morfología y estructura gonádica de *P. laticlavius*, sigue un patrón similar al de los demás acantúridos, sin embargo, presenta diferencias, tales como un morfocromatismo gonádico en ambos sexos. Esto permite confirmar que la maduración gonádica es propia de cada especie, y que a pesar de que la forma y coloración de la gónada no son consideradas como determinantes en una escala de madurez, existen especies como *P. laticlavius*, donde esta cualidad biológica no debería ser omitida, debido a que se podría errar en su estimación sexual poblacional confundiendo sus fases de desarrollo gonádico. La utilización de las evaluaciones macroscópicas y microscópicas



en conjunto, favorecen al establecimiento de escalas de madurez que validadas correctamente podrían convertirse en la principal herramienta de identificación de madurez sexual de los organismos.

- Mediante la evaluación de la histoarquitectura gonádica de *P. laticlavius*, se confirmó que es una especie gonocórica como el resto de los acantúridos, y que su ciclo reproductivo se encuentra principalmente asociado con las temperaturas más cálidas del año (mayor actividad durante el verano). Además, fue posible registrar que la población evaluada está dominada por hembras, y éstas desarrollan un dimorfismo denominado macroginia. Por otra parte, entre las estrategias implicadas en la reproducción de *P. laticlavius*, se observó que esta especie madura sexualmente a los 20.7 cm de LT y almacena grasa en su cavidad celómica como reservorio energético, la cual es utilizada principalmente durante el desarrollo y la maduración gonádica, mientras que la presencia de melanomacrófagos (agentes de reabsorción celular) ayuda a la recuperación gonádica después de un evento reproductivo.

## 10. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios que exploren más a detalle las “estancias de crecimiento”, e identifiquen cada punto de inflexión, para explicar biológicamente los cambios generados durante el ciclo de vida de los organismos a determinadas tallas o edades.
- Para obtener la talla de madurez sexual en las hembras de *P. laticlavus* es necesaria una muestra con rangos de tallas que impliquen sus diferentes fases de desarrollo corporal para evitar una estimación errónea.
- La evaluación y registro del comportamiento reproductivo de *P. laticlavus* previo, durante y después del desove, para describir el sistema de cortejo y mecanismo de apareamiento que lleva a cabo la especie.
- La estimación de la fecundidad considerando la existencia de gónadas maduras sin la presencia de folículos post-ovulatorios recientes, amplio rango de tallas (gónadas en diferentes clases de talla) y una muestra significativa de organismos.
- La comparación de estos aspectos biológicos entre las distintas regiones de su distribución, así como con las demás especies pertenecientes al género, para la estandarización y validación de algunos aspectos biológicos, tal como la escala de madurez sexual y la talla de madurez poblacional.

## 11. LITERATURA CITADA

- Abesamis, R., J. H. Choat, K. D. Clements, J. McIlwain, R. Myers, C. Nanola, L.A. Rocha, B. Russell & B. Stockwell. 2012. *Prionurus punctatus*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2012: e.T183646A17253253
- Aburto-Oropeza, O. & E. F. Balart, 2001. Community structure of reef fish in several habitats of a rocky reef in the Gulf of California. *Mar. Ecol.*, 22(4), 283–305. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0485.2001.t01-1-01747.x>
- Agius, C. & R. J. Roberts. 1981 Effects of starvation of the melano-macrophage centres in fish. *J. Fish. Biol.*, 19: 161–169
- Agius, C. & R. Roberts. 2003. Melano-macrophage centers and their role in fish pathology. *J. Fish. Dis.*, 9, 499–509
- Agius, C. 1980 Phylogenetic development of melano-macrophage centres in fish. *J. Zool., London* 191: 111–32
- Allen, G. R. & R. D. Robertson. 1994. Fishes of the tropical eastern Pacific. Hawaii Press. Hawaii, 315 pp
- Álvarez-López, I. K. 2017. Ciclo reproductivo de *Tripneustes depressus* (A. Agassiz, 1863) (Echinodermata: Echinoidea) en Punta Arena de la Ventana, Baja California Sur, México (Tesis Licenciatura). Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, México.
- Arellano-Martínez, M., A. Rojas-Herrera, F. García-Domínguez, B. P. Ceballos-Vázquez & M. Villalejo-Fuerte. 2001. Ciclo reproductivo del pargo lunarejo *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869) en las costas de Guerrero, México, *Rev. Biol. Mar. y Ocean.*, 36: 1–8.
- Arreola-Robles, J. L. & J. F. Elorduy-Garay. 2002. Reef fish diversity in the region of La Paz, Baja California Sur, México. *Bull. Mar. Sci.*, 70: 1–18.
- Barnham, C. & A. Baxter. 1998. Condition factor, K, for salmonid fish. Fish. Notes, 3 pp.
- Bernal, M. A. & L. A. Rocha. 2011. *Acanthurus tractus* poey, 1860, a valid western atlantic species of surgeonfish (Teleostei, Acanthuridae), distinct from *Acanthurus bahianus* Castelnau, 1855. *Zootaxa*, 68(2905), 63–68.
- Blaxter, J. H. S. 2010. Fish Reproduction. In *Encyclopedia of Ocean Sciences* (pp. 425–431). <https://doi.org/10.1016/B978-012374473-9.00025-4>

- Body D. R. 1989. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, 72: 248-254.
- Bolognini, L., F. Domenichetti, F. Grati, P. Polidori, G. Scarcella & G. Fabi. 2013. Weight-length relationship for 20 fish species in the Adriatic Sea. *Turk. J. Fish. Aqua. Sc.*, 13, 555–560. <https://doi.org/10.4194/1303-2712-v13>
- Bone, Q. & R. H. Moore. 2009. Biology of Fishes. *Q. Rev. Biol.*, 84(2), 210. <https://doi.org/10.1086/603512>
- Bouchon-Navaro, Y., C. Bouchon, D. Kopp & M. Louis 2006. Weight–length relationships for 50 fish species collected in seagrass beds of the Lesser. *J. Appl. Ichthyol.*, 22, 322–324.
- Bromley, P. J. 2003. Progress towards a common gonad grading key for estimating the maturity of North Sea plaice. In: Report of the working group on Modern approaches to assess maturity and fecundity of warm and cold-water fish and squids. 12:19-24
- Brouwer, S. L. & M. H. Griffiths. 2005. Reproductive biology of carpenter seabream (*Argyrozona argyrozona*) (Pisces: Sparidae) in a marine protected area. *Fish. Bull.*, 103: 258–269.
- Brown-Peterson, N. J., D. M. Wyanski, F. Saborido-Rey, B. J. Macewicz & S. K. Lowerre-Barbieri. 2011. A standardized terminology for describing reproductive development in fishes. *Mar. Coast. Fish.*, 3(1), 52–70. <http://doi.org/10.1080/19425120.2011.555724>
- Buitrón, B., Á. Perea, J. Mori, J. Sánchez, C. Roque, M. A. Gálvez & J. Castillo. 2015. Escala de madurez gonadal de anchoveta peruana. *Boletín del Instituto el Mar del Perú*, 30(1–2), 10–19.
- Bushnell, M. 2007. Reproduction of *Zembrasoma flavescens*: oocyte maturation, spawning patterns, and an estimate of reproductive potential for female yellow tang in hawaii. (Master of Science Degree). Universidad de Hawaii.
- Bushnell, M. E., J. T. Claisse & C. W. Laidley. 2010. Lunar and seasonal patterns in fecundity of an indeterminate, multiple-spawning surgeonfish, the yellow

- tang *Zebrasoma flavescens*. *J. Fish Biol.*, 76(6), 1343–1361.  
<http://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02569.x>
- Byskov, A. G., C. Y. Andersen & L. Leonardsen. 2002. Role of meiosis activating sterols, MAS, in induced oocyte maturation. *Mol. Cell. Endocrinol.*, 187(1-2), 189–196. [https://doi.org/10.1016/S0303-7207\(01\)00707-9](https://doi.org/10.1016/S0303-7207(01)00707-9)
- Cadima, E.L. 2003. Fish stock assessment manual. FAO Fisheries Technical Paper, 393 pp.
- Cálapiz-Segura, A. 2004. Composición y estructura comunitaria de peces de arrecife rocoso en Punta Perico e Isla Cerralvo (Tesis de Maestría) Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas – IPN, La Paz, México.
- Carnevali, O., R. Carletta, A. Cambi, A. Vita & N. Bromage. 1999. Yolk formation and degradation during oocyte maturation in Sea Bream *Sparus aurata*; Involvement of two Lysosomal proteinases. *Biol. Reprod.*, 60: 140-146
- Choat, J. H. & L. M. Axe. 1996. Growth and longevity in acanthurid fishes; An analysis of otolith increments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 134(1–3), 15–26.  
<http://doi.org/10.3354/meps134015>
- Cifuentes, R., J. González, G. Montoya, A. Jara, N. Ortiz, P. Piedra & E. Habit. 2012. Relación longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuena del río Valdivia, Chile). *Gayana*, 76(SUPP.1), 101–110.  
<https://doi.org/10.4067/s0717-65382012000100009>
- Claisse, J. T., M. Kienzle, M. E. Bushnell, D. J. Shafer & J. D. Parrish. 2009. Habitat- and sex-specific life history patterns of yellow tang *Zebrasoma flavescens* in Hawaii, USA. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 389, 245–255.  
<http://doi.org/10.3354/meps08114>
- Costa, E. F. S., J. F. Dias & H. Murua. 2015. Reproductive strategy and fecundity of the keystone species *Paralonchurus brasiliensis* (Teleostei, Sciaenidae): an image processing techniques application. *Environ. Biol. Fishes*, 98(10), 2093–2108. <https://doi.org/10.1007/s10641-015-0432-2>
- Costa, M. R. & F. G. Araújo. 2003. Length-weight relationship and condition factor of *Micropogonias furnieri* (Desmarest, 1823) (Perciformes, Sciaenidae) in the

- Sepetiba Bay, Rio de Janeiro State, Brazil. *R. B. Zool.*, 20(4), 685–690.  
<https://doi.org/10.1590/s0101-81752003000400022>
- Coward, K. & N. R. Bromage. 1998. Histological classification of oocyte growth and the dynamics of ovarian recrudescence in *Tilapia zilli*. *J. Fish Biol.*, 53, 285–302
- Craig, P. C. 1998. Temporal spawning patterns of several surgeonfishes and wrasses in American Samoa. *Pac. Sci.*, 52(1), 35–39.
- Curtis, H., N. S. Barnes, A. Schnek & G. Flores. 2001. *Biología*. 6ª Ed. Editorial Médica Panamericana, España. 1496 pp.
- De la Hoz, J., J. Narváez & O. Solano. 2009. Length-weight relationships for 36 fish populations from a disturbed tropical estuary in northern Colombia. *J. Appl. Ichthyol.*, 25: 618–619.
- De La Hoz-M, J., J. Motta, & J. Paramo. 2016. Length-weight relationships for 36 deep-sea fish in the Colombian Caribbean Sea. *J. Appl. Ichthyol.*, 32 (6), 1356–1359. doi:10.1111/jai.13217
- DeMartini, E. E. 2016. Sexual dimorphisms in the bluespine unicornfish, *Naso unicornis* (Acanthuridae): External metrics for movement ecology and life history. *Copeia*, 104(2), 498–505. <http://doi.org/10.1643/ce-15-270>
- DeMartini, E. E., R. C Langston, & J. A, Eble. 2014. Spawning seasonality and body sizes at sexual maturity in the bluespine unicornfish, *Naso unicornis* (Acanthuridae). *Ichthyol. Res.*, 61: 243–251.
- Duarte, L. O., H. Castillo-Navarro, A. Rojas & E. Castro. 2015. Variabilidad temporal de relaciones biométricas y de la condición del bonito, *Thunnus atlanticus*. In Atlas Biológico Pesquero de la Reserva de Biosfera Seaflower. 58–72 p.
- Eble J. A., R. Langston & B. W. Bowen. 2009. Growth and reproduction of Hawaiian kala, *Naso unicornis*. Final report prepared for fisheries local action strategy. *Division of Aquatic Resources*, Department of Land and Natural Resources, Hawaii
- Efron, B., 1987. Better bootstrap confidence intervals (with discussion). *J. Amer. Stat. Assoc.*, 82: 171–200.

- Erisman, B. & L. Allen. 2006. Reproductive behavior of a temperate serranid fish, *Paralabrax clathratus* (Girard), from Santa Catalina Island, California, U.S.A. *J. Fish Biol.*, 68: 157-184.
- Estrada-Godínez, J., A. M. Maldonado-García, V. Gracia-López, M. Carrillo, R. Rebollar-Prudente & M. Spanopoulos-Zarco. 2014. Efecto del fotoperiodo y la temperatura sobre la composición bioquímica en reproductores silvestres de cabrilla sardinera, *Mycteroperca rosacea* (Streets, 1877). *J. Aquat. Res.*, 42: 85–96.
- Fenaughty, J. M. 2006. Geographical differences in the condition, reproductive development, sex ratio and length distribution of Antarctic toothfish (*Dissostichus mawsoni*) from the Ross Sea, Antarctica (CCAMLR SUBAREA 88.1), *CCAMNLR Science*, 1, 27-45.
- Fishelson, L., L. Montgomery & A. Myrberg. 1985. A new fat body associated with the gonad of surgeonfishes (Acanthuridae:Teleostei). *Mar. Biol.*, 86: 109–112
- Fishelson, L., L. Montgomery & A. Myrberg. 1987. Biology of surgeonfish *Acanthurus nigrofuscus* with emphasis on changeover in diet and annual gonadal cycles. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 39: 37–47.
- Fontoura, N. F., A. S. Braun & P. C. C. Milani 2009. Estimating size at first maturity (L50) from gonadosomatic Index (GSI) data. *Neotrop. Ichthyol.*, 7(2), 217–222. <http://doi.org/10.1590/S1679-62252009000200013>
- Fricke, R., Eschmeyer, W. N. & Van der Laan, R. (eds) 2020. Eschmeyer's catalog of fishes: genera, species, references. (<http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>). Electronic version accessed 17 02 2020.
- Froese, R. 1998. Length-weight relationships for 18 less-studied fish species. *J. Appl. Ichthyol.*, 14(1–2), 117–118. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.1998.tb00626.x>
- Froese, R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: History, meta-analysis and recommendations. *J. Appl. Ichthyol.*, 22(4), 241–253. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x>

- Froese, R. & D. Pauly. Editors. 2019. FishBase. World Wide Web electronic publication. [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org), version (12/2019). Consulta 10/05/2020.
- Fulton, T. W. 1904. The rate of growth of fishes. Twenty-second Annual Report, Part III. Fisheries Board of Scotland, Edinburgh, pp. 141–241
- Gluyas-Millán, G. 1994. Reproducción, edad y talla de primera madurez de la Macarela *Scomber japonicus* (Houttuyn, 1872) en bahía Vizcano. *Cienc. Mar.*, 20(3), 409–419.
- González-Álvarez, K. M. 2013. Desarrollo morfológico, crecimiento alométrico y actividad enzimática durante la ontogenia temprana del dorado *Seriola lalandi Valenciennes, 1833* (Carangidae: Perciformes) (Tesis de Licenciatura). Universidad Austral de Chile.
- González-Castro M. & G. Minos. 2016. Sexuality and reproduction of mugilidae. In: Crosetti D and S. Blaber (eds). Biology, ecology and culture of grey mullets (mugillidae), 227-263 pp. *CRC Press*, Boca Raton.
- Grim, J. N. 1985. *Balantidium prionurium* n. sp., Symbiont in the intestine of the surgeonfish, *Prionurus punctatus*. *J. Protozool.*, 32(4), 587–588.
- Guiasu, C. R. & R. Winterbottom. 1993. Osteological evidence for the phylogeny of recent genera of surgeonfishes (Percomorpha, Acanthuridae). *Copeia* 2: 300–312.
- Gumanao, G. S., M. M. Saucedo-Cardoza, B. Mueller & A. R. Bos. 2016. Length-weight and length-length relationships of 139 Indo-Pacific fish species (Teleostei) from the Davao Gulf, Philippines. *J. Appl. Ichthyol.*, 32(2), 377–385. <https://doi.org/10.1111/jai.12993>
- Gusrin, Asriyana, & Bahtiar. 2020. Pertumbuhan ikan kakatua, *Scarus rivulatus Valenciennes, 1840* di Perairan Teluk Kulisusu, Buton Utara, Sulawesi Tenggara. *J. Fish. Sci. Innov.*, 4(1), 22–31.
- Helfman, G. S., B. B. Collete, D. E. Facey & B. W. Bowen. 2009. *The diversity of fishes: Biology, Evolution and Ecology* (2 ed.), Wiley-Blackwell, Chichester. 737 pp.



- Hernández-Olalde, L. 2008. Ecología reproductiva de peces de arrecife rocoso en el suroeste del Golfo de California. (Tesis de Doctorado) Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas – IPN, La Paz, BCS, México.
- Hayward, A. & J. F. Gillooly. 2011. The Cost of Sex: Quantifying Energetic Investment in Gamete Production by Males and Females. *PLoS ONE* 6(1): e16557. doi: 10.1371/journal.pone.0016557
- Houillon, C. 1978. Sexualidad. (3 ed.), Omega, Barcelona. 202 pp. <https://doi.org/10.1007/s10228-014-0393-z>
- Humason, G. 1979. Animal Tissue Techniques. (4 ed.) W.H. Freeman, San Francisco. 692 pp.
- Ighwela, K. A., A. B. Ahmed & A. B. Abol-Munafi. 2011. Condition Factor as an Indicator of Growth and Feeding Intensity of Nile Tilapia Fingerlings (*Oreochromis niloticus*) Feed on Different Levels of Maltose. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci*, 11(4), 559–563.
- Jellyman, P. G., D. J., Booker, S. K. Crow, M. L. Bonnett & D. J. Jellyman. 2013. Does one size fit all? An evaluation of length-weight relationships for New Zealand's freshwater fish species. *New Zeal. J. Mar. Fresh.*, 47(4), 450–468. <https://doi.org/10.1080/00288330.2013.781510>
- Joyeux, J. C., T. Giarrizzo, R. M. Macieira, H. L. Spach & T. Vaske Jr. 2009. Length-weight relationships for Brazilian estuarine fishes along a latitudinal gradient. *J. Appl. Ichthyol.*, 25(3), 350–355. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2008.01062.x>
- Kagawa, H. 2013. Oogenesis in teleost fish. *Aqua-BioScience Monographs*, 6(4), 99–127. <https://doi.org/10.5047/absm.2013.00604.0099>
- Kamikawa, K. T., E. Cruz, T. E. Essington, J. Hospital, J. K. T. Brodziak & T. A. Branch. 2015. Length-weight relationships for 85 fish species from Guam. *J. Appl. Ichthyol.*, 31(6), 1171–1174. <https://doi.org/10.1111/jai.12877>
- Kjesbu, O. S., J. R. Hunter & P. R. Witthames 2003. Report of the working group on modern approaches to assess maturity and fecundity of warm - and cold-water fish and squids. Institute of Marine Research. *Fisken og Havet* 12: 7-9.

- Kritzer, J. P. 2004. Sex-specific growth and mortality, spawning season, and female maturation of the striped bass (*Lutjanus caponotatus*) on the Great Barrier Reef. *Fish. Bull.*, 102, 94-107
- Lagler, K., J. Bardach., R. R. Miller & P. M. Passino 1984. *Ictiología*, AGT, México, 27–91 pp.
- Lango-Reynoso, F., M. Castañeda-Chávez, J. E. Zamora-Castro, G. Hernández-Zárate, M. A. Ramírez-Barragán & E. Solís-Morán. 2012. La acuariofilia de especies ornamentales marinas: un mercado de retos y oportunidades. *J. Aquat. Res.*, 40: 12–21.
- Langston, R., K. Longenecker & J. Claisse. 2009. Reproduction, growth, and mortality of kole, *Ctenochaetus strigosus*. (Final report) *Division of Aquatic Resources*. Hawaii
- 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.
- Lender, T., R. Delavault & A. Le Moigne. 1982. *Diccionario de Biología*. Ediciones Grijalbo, S.A. 203 pp.
- Lloret, J., G. Shulman & R. M. Love. 2014. Fish condition and life history. In *Condition and Health Indicators of Exploited Marine Fishes* (First, pp. 53–110). John Wiley & Sons, LTD. Manhattan. USA. <https://doi.org/10.1002/9781118752777.ch4>
- Longenecker, K. & R. Langston. 2008. A rapid, low-cost technique for describing the population structure of reef fishes. *Hawaii Biological Survey* No. 2008-002.
- Lowerre-Barbieri, S. K. 2009. Reproduction in relation to conservation and exploitation of marine fishes. In: Jamieson, B. G. M (ed) *Reproductive biology and phylogeny of fishes (Agnathan and bony fishes)*, Vol 9, Parte B. Science Publishers, Enfield, CT, 371 pp.
- Lowerre-Barbieri, S. K., N. J. Brown-Peterson, H. Murua, J. Tomkiewicz, D. Wyanski, & F. Saborido-Rey. 2011. Emerging issues and methodological advances in

- fisheries reproductive biology. *Mar. Coast. Fish.: Dyn. Manag. Ecosys. Sci.*, 3:32–51
- Ludt, W. B., L. A. Rocha, M. V. Erdmann & P. Chakrabarty 2015. Skipping across the tropics: The evolutionary history of sawtail surgeonfishes (Acanthuridae: *Prionurus*). *Mol. Phylogenetics Evol.*, 84, 166–172. <http://doi.org/10.1016/j.ympev.2014.12.017>
- Ludt, W. B., M. A. Bernal, E. Kenworthy, E. Salas & P. Chakrabarty. 2019. Genomic, ecological, and morphological approaches to investigating species limits: A case study in modern taxonomy from Tropical Eastern Pacific surgeonfishes. *Ecol. Evol.*, 9(7), 4001–4012. <http://doi.org/10.1002/ece3.5029>
- Luiz, O. J., I. Sazima, L. F. Waib & C. E. L. Ferreira. 2010. A honeymoon in Brazil: the spawning behavior of an exotic reef fish in the western south Atlantic. *Neotrop. Ichthyol.*, 8: 369–371.
- Marshall A. R. 1958. A survey of the snook fishery of Florida, with studies of the biology of the principal species, *Centropomus undecimalis* (Bloch). Florida Board Conservation. *Marine Research Laboratory Technical Series* 22:1-39.
- Martínez-Ravelo, L. 2001. Caracterización socioeconómica de la comunidad el Sargento y su anexo La Ventana, BCS (Tesis Licenciatura). Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, México.
- Matsuyama, M., Y. Nagahama & S. Matsuura. 1991. Observations on ovarian follicle ultrastructure in the marine teleost, *Pagrus major*, during vitellogenesis and oocyte maturation. *Aquaculture*, 92(C), 67–82. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(91\)90009-V](https://doi.org/10.1016/0044-8486(91)90009-V)
- McMillan, D. B. 2007. *Fish Histology: Female Reproductive System*. Springer, Canada. 587 pp.
- Minch, J. & T. Leslie. 1991. The Baja Highway: a geology and biology field guide for the baja traveler. John Minch and Associates, Hawthorne, USA. 233 pp.
- Montgomery, W. L., T. Gerrodette & L. D. Marshall. 1980. Effects of grazing by the yellowtail surgeonfish, *Prionurus punctatus*, on algal communities in the Gulf of California, Mexico. *Bull. Mar. Sci.*, 30(4), 901–908.

- Morales-Nin, B. 1991. Determinación del crecimiento de peces óseos en base a la microestructura de los otolitos. *FAO Documento Técnico de Pesca*. No. 322. Roma, 58 pp.
- Moreno-Sánchez, X., L. Abitia-Cárdenas, R. Riosmena-Rodríguez, M. Cabrera-Huerta & F. Gutiérrez-Sánchez. 2014. Trophic spectrum of the yellowtail surgeonfish *Prionurus punctatus* (Gill, 1862) on the rocky reef of Los Frailes, Baja California Sur, México. *Cah. Biol. Mar.*, 55, 1–8.
- Murua, H. & F. Saborido-Rey, 2003 Female reproductive strategies of marine fish species of the north Atlantic, *J. Northw. Atlant. Fisheries Science*, 33, Pages 23– 31.
- Murua, H. 2014. Fish reproduction assortment: a wonderful diversity. *Environ. Biol. Fishes.*, 97(3), 329–333. <http://doi.org/10.1007/s10641-013-0154-2>
- Murua, H., G. Kraus, F. Saborido-Rey, P. R. Witthames, A. Thorsen & S. Junquera. 2003. Procedures to estimate fecundity of marine fish species in relation to their reproductive strategy. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.*, 33, 33–54.
- Nagahama, Y. & M. Yamashita. 2008. Regulation of oocyte maturation in fish. *Dev. Growth Differ.*, 50, 195-219. <https://doi.org/10.1111/j.1440-169X.2008.01019.x>
- Nagahama, Y. 1983. The functional morphology of teleost gonads. In *Fish Physiology*, Vol. IX (W. S. Hoar, D. J. Randall & E. M. Donaldson, eds), Academic Press, Nueva York. 223–275 pp.
- Nelson, J. S., T. C. Grande & M. V. H. Wilson. 2016. *Fishes of the World*. (5ed.) J. Wiley and Sons, Nueva York. 752 pp.
- Nika, N. 2012. Change in allometric length-weight relationship of *Salmo trutta* at emergence from the redd. *J. Appl. Ichthyol.*, 29(1), 294–296. <https://doi.org/10.1111/jai.12008>
- Ogle, D. 2013. FishR Vignette – Maturity Schedules. [derekogle.com/fishR/examples/oldFishRVignettes/Maturity.pdf](http://derekogle.com/fishR/examples/oldFishRVignettes/Maturity.pdf) acceso el 24 10 2019
- Oliveira, M. T., M. N. Santos, R. Coelho, V. Monteiro, A. Martins & P. G. Lino. 2014. Weight-length and length-length relationships for reef fish species from the

- Cape Verde Archipelago (tropical north-eastern Atlantic). *J. Appl. Ichthyol.*, 31(1), 236–241. <https://doi.org/10.1111/jai.12497>
- Paniagua, R., M. Nistal, P. Sesma, M. Álvarez-Uría, B. Fraile, R. Anadón & F. J. Sáez. 2007. *Citología e histología vegetal y animal*. McGraw-Hill Interamericana de España (4 ed.), Madrid. 909 pp.
- Peyton, K. A., T. S. Sakihara, L. K. Nishiura, T. T. Shindo, T. E. Shimoda, S. Hau, A. Akiona & K. Lorance. 2016. Length-weight relationships for common juvenile fishes and prey species in Hawaiian estuaries. *J. Appl. Ichthyol.*, 32(3), 499–502. <https://doi.org/10.1111/jai.12957>
- Piña-Espallargas, R. 2005. La pesquería de especies marinas con fines de ornato en México. El parque marino de Loreto, BCS, como estudio de caso. (Tesis de Maestría) Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas – IPN, La Paz, México.
- Price, A. C., C. J. Weadick, J. Shim & F. H. Rodd. 2008. Pigments, patterns, and fish behavior. *Zebrafish* 5(4), 297–307. <https://doi.org/10.1089/zeb.2008.0551>
- R Core Team, 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
- Ramsay, K. & P. Witthames. 1996. Using oocyte size to assess seasonal ovarian development in *Solea solea*. *J. Sea Res.*, 36(3-4): 275-283.
- Randall, J. E. 1961. Observations on the spawning of surgeonfishes (Acanthuridae) in the Society Islands. *Copeia* 1961: 237–238
- Randall, J. E. 2001. *Surgeonfishes of the World*. Mutual Publishing and Bishop Museum Press, Hawaii. 127 pp
- Randall, J.E. 1995. *Coastal Fishes of Oman*. University of Hawaii Press, Honolulu. 439 pp.
- Renán, X., J., Trejo-Martínez, D., Caballero-Arango & T. Brulé. 2015. Etapas de crecimiento en un complejo *Epinephelidae-Lutjanidae*: Consideraciones al cálculo de las relaciones peso-longitud. *Rev. Biol. Trop.*, 63(1), 175–188. <https://doi.org/10.15517/rbt.v63i1.14948>

- Reñones, O., A. Grau, X. Mas, F. Riera & F. Saborido-Rey 2010. Reproductive pattern of an exploited dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe 1834) (Pisces: Serranidae) population in the western Mediterranean. *Sci. Mar.*, 74, 523– 537.
- Ricker, W. E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *J. Fish. Res. Board. Can.*, Bulletin 191, Ottawa. <http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/1485.pdf>
- Robertson, D. R. & G. R. Allen. 2016. Fishes: East Pacific. A guide to the shorefishes of the Tropical Eastern Pacific. versión 3.0 Smithsonian Tropical Research Institute, Balboa, República de Panamá.
- Robertson, D. R. 1983. On the spawning behavior and spawning cycles of eight surgeonfishes from the Indo-Pacific. *Environ. Biol. Fishes*, 9(3), 193–223.
- Robertson, D. R. 1985. *Sexual-size dimorphism in surgeonfishes. Proceedings of the International Coral Reef Congress*, (Vol. 5).
- Rodríguez, L., S. Zanuy & M. Carrillo. 2001. Influence of daylength on the age at first maturity and somatic growth in male sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*. 196: 159-175.
- Ross. M. H. & W. Pawlina, 2012. Histología, Texto y Atlas color con Biología Celular y Molecular (6ta ed.). Traducido por editorial Medica Panamericana S.A.C.F., Buenos Aires, 996 pp.
- Sánchez-Cárdenas R., M. Arellano-Martínez, M. C. Valdez-Pineda, R. E. Morán-Angulo & B. P. Ceballos-Vázquez. 2011. Reproductive cycle and sexual maturity of *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) (Tetraodontiformes, Tetraodontidae) from the coast of Mazatlan, Sinaloa, Mexico. *J. Appl. Ichthyol.* 27: 1190-1196.
- Sánchez, J., Á. Perea, B. Buitrón & L. Romero. 2013. Escala de madurez gonadal del jurel *Trachurus murphyi* Nichols 1920. *Revista Peruana de Biología*, 20(1), 35–44. <https://doi.org/10.15381/rpb.v20i1.2617>
- Sancho, G. 1998. Behavioral ecology of coral reef fishes at spawning aggregation sites (Thesis of PhD). Massachusetts Institute of Technology and Woods Hole Oceanographic Institution. *Sciences-New York*.

- Saurabh, S., N. Sridhar, G. Barlya, C. H. Hemaprasanth-Raghavendra, M. R. Ragunath & P. Jayasankar. 2013. Sexual dimorphism in fishes. *AQUA International*, (November), 30–32.
- Selman, K., R. A. Wallace, A. Sarka & X. Qi. 1993. Stages of oocyte development in the zebrafish, *Brachydanio rerio*. *J. Morphol.*, 218, 203-224.
- Sepúlveda Saavedra, J. 2014. Texto Atlas de Histología. Biología Celular y Tisular, McGraw-Hill Interamericana (2 ed.), México. 407 pp.
- Sorenson, L., F. Santini, G. Carnevale & M. E. Alfaro. 2013. A multi-locus timetree of surgeonfishes (Acanthuridae, Percomorpha), with revised family taxonomy. *Mol. Phylogenet. Evol.*, 68, 150–160.
- Sparre, P. & S. Venema, 1997. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. Documento técnico de pesca. *FAO*. 451 pp.
- Stahl, M. 2008. Reproductive physiology of shovelnose sturgeon from the middle Mississippi river in relation to seasonal variation in plasma sex steroids, vitellogenin, calcium, and oocyte diameters. (Thesis of Master of Science degree). University Carbondale. Illinois.
- Takemura, A., M. S. Rahman & Y. J. Park. 2010. External and internal controls of lunar related reproductive rhythms in fishes. *J. Fish Biol.*, 76: 7–26.
- Taylor, B. M., K. L. Rhodes, A. Marshall & J. L. McIlwain. 2014. Age-based demographic and reproductive assessment of orangespine *Naso lituratus* and bluespine *Naso unicornis* unicornfishes. *J. Fish Biol.*, 85, 901–916.
- Tebbett, S. B., C. H. R. Goatley & D. R. Bellwood. 2017. The effects of algal turf sediments and organic loads on feeding by coral reef surgeonfishes. *PLoS ONE* 12(1): e0169479. doi: 10.1371/journal.pone.0169479
- Thomson A. D., L. T. Findley & A. N. Kerstitch. 2000. *Reef Fishes of the Sea of Cortez*. The University of Texas Press, Austin, USA. 353 pp.
- Trujillo-Millán, O. 2003. Reclutamiento de peces de arrecife en Isla Cerralvo y Punta Perico, BCS, México (Tesis de Maestría). Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas - IPN. La Paz, BCS, México.

- Trujillo Millán, O. 2009. Dinámica del reclutamiento de peces de arrecife rocoso del suroeste del Golfo de California (Tesis de Doctorado). Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas - IPN. La Paz, México.
- Tyler, C. R. & J. P. Sumpter. 1996. Oocyte growth and development in teleosts. *Rev. Fish Biol. and Fish.* 6, 287-318.
- Tyler, J. C. 1970. Osteological aspects of interrelationships of surgeon fish genera (Acanthuridae). *Proc. Acad. Nat. Sci. Phila.*, 122: 87–124.
- Ulloa-Ramírez, P. A., J. L. Patiño-Valencia, M. L. Guevara-Rascado, S. Hernández-Ventura, R. Sánchez-Regalado & A. Pérez-Velázquez. 2008. "Peces marinos de valor commercial del estado de Nayarit, México". Repositorio de la RNIIPA. Instituto Nacional de Pesca. 88 pp
- Valpato, G. L. & E. Trajano. 2005. Biological rhythms. In: A. L. Val, E. M. F. de Almeida-Val & D. Randall (eds.). *The physiology of tropical fishes*. Academic Press, Amsterdam, pp. 101-153.
- Vilanova-Queiroz, R. M., M. G. Do Rêgo, F. Hissa, H. Vieira & P. G. Vasconcelos-De Oliveira. 2018. Reproductive biology of *Acanthurus coeruleus* (Bloch & Schneider, 1801) (Perciformes: Acanthuridae) in the north coast of the State of Pernambuco, Brazil. *Pan-Am. J. Aquat. Sci.*, 13(1), 25–35.
- Wallace, R. A. & K. Selman. 1980. Oogenesis in *Fundulus heteroclitus*. The transition from vitellogenesis into maturation. *Gen. Comp. Endocrinol.* 42, 345-354.
- Wallace, R. A. & K. Selman. 1981. Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. *Am. Zoo.*, 21: 325-343.
- Webster, D. & M. Webster. 1974. *Comparative vertebrate morphology*. Academic Press. London. 517 pp.
- Zar, J. H. 2010. *Biostatistical Analysis*. 5a ed. Pearson Prentice Hall., Upper Saddle River, Nueva Jersey. 931 pp.