



# UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y  
TECNOLÓGICAS

POSGRADO EN BIOCENCIAS

---

**BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DE LA CABRILLA  
ARENERA, *Paralabrax maculatofasciatus*  
(Steindachner, 1868), EN LA REGIÓN DE  
BAHÍA DE KINO, SONORA**

**TESIS**

que para obtener el grado de:

**MAESTRO EN BIOCENCIAS**

presenta:

**LORENZO ENRIQUE COSTICH GONZÁLEZ**

Hermosillo, Sonora, México

14 de noviembre del 2018

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

## **DERECHOS DE AUTOR**

El presente trabajo de tesis se presenta como uno de los requisitos parciales para la obtención del grado de **Maestro en Biociencias** de la Universidad de Sonora.

Se deposita en la biblioteca de Ciencias Biológicas y de la Salud para ponerla a disposición de los interesados. Se permiten citas breves del material contenido en la tesis sin permiso del autor, siempre y cuando se otorgue el crédito correspondiente. Para reproducir, o en su caso referirse a este documento en forma parcial o total, se deberá solicitar la autorización al Coordinador del Programa del Posgrado.

Bajo cualquier otra circunstancia se debe solicitar permiso directamente al autor.

Atentamente

---

**Lorenzo Enrique Costich González**

Autor

---

**Dra. Nohemí Gámez Meza**

Coordinadora del Programa de Maestría en Biociencias

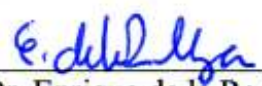
## APROBACIÓN

Los miembros del Comité designado para revisar la tesis intitulada “Biología reproductiva y análisis bioquímico gonadal de la cabrilla arenera, *Paralabrax maculatofasciatus* (Steindachner, 1868), en la región de Bahía de Kino, Sonora” presentada por Lorenzo Enrique Costich González, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Biociencias opción Acuicultura.



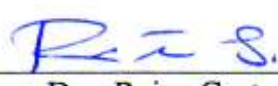
---

Dr. Christian Minjarez Osorio  
Co-Director




---

Dr. Enrique de la Re Vega  
Co-Director




---

Dra. Reina Castro Longoria  
Secretario



---

Dr. José Manuel Grijalva Chon  
Sinodal interno



---

Dr. Rafael Del Río Salas  
Sinodal externo

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este trabajo a mis padres, quienes con su apoyo he logrado terminar mis estudios universitarios, muchas gracias por su paciencia y apoyo en cada etapa de mi vida, son un ejemplo a seguir.

A mis hermanos con los que he compartido muchos buenos momentos

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Posgrado en Biociencias por haberme aceptado como alumno y formarme profesionista.

Al CONACyT por haberme brindando el apoyo económico para cursar el Posgrado en Biociencias y estar siempre dedicado a mis estudios.

A la Universidad de Sonora y al Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (DICTUS), por permitirme concluir mis estudios y darme las herramientas necesarias para enfrentarme al mundo laboral.

A mis codirectores Dr. Christian Minjarez Osorio y al Dr. Enrique de la Re Vega, por todo el apoyo demostrado durante este periodo, así como por el conocimiento transmitido.

A la Dra. Reina Castro Longoria, por el tiempo dedicado en la revisión de este trabajo y el apoyo en la descripción histológica de los organismos.

Al Dr. Manuel Grijalva Chon, por sus apropiados consejos en los seminarios y la revisión del escrito.

Al Dr. Rafael del Rio Salas, por el tiempo dedicado a la realización de este trabajo, así como sus correcciones y acertados comentarios durante los seminarios, los cuales ayudaron a enriquecer el presente trabajo.

## RESUMEN

La cabrilla arenera, *Paralabrax maculatofasciatus*, es un pez marino explotado durante el año como una de las pesquerías locales más importantes del noroeste de México. Desafortunadamente, la tasa de captura de la especie en el Golfo de California ha aumentado significativamente sin regulación, intensificándose durante la captura de camarón. Actualmente, existe poca información publicada sobre los aspectos reproductivos de la especie en la región, además este trabajo se considera el primero en evaluar los aspectos reproductivos de la especie en conjunto con las características bioquímicas de la gónada e índices biológicos. Para ello, se obtuvieron un total de 30 organismos a través de los pescadores de Bahía de Kino de marzo de 2017 a febrero de 2018. Los organismos se midieron, pesaron y disectaron para obtener los índices IGS, IHS y K. Adicionalmente, se tomó una porción de cada una de las gónadas para llevar a cabo los análisis histológicos y análisis proximales. Las muestras utilizadas para histología se fijaron en solución Davidson para ser teñidas por la técnica hematoxilina-eosina, mientras que las muestras para los análisis proximales se conservaron en ultra congelación a -80°C y se analizaron de acuerdo a los protocolos de la AOAC a excepción de los lípidos totales, los cuales se analizaron por la técnica de Folch. Los índices somáticos calculados se vieron significativamente afectados ( $p < 0.05$ ) durante el año en términos de IHS e IGS. Los valores máximos de IHS e IGS se observaron en febrero (2.24) y abril (5.38), respectivamente, sin diferencias significativas para K. El análisis histológico mostró presencia de machos maduros en abril (50%) y de octubre-noviembre (37.0%-37.5%); y hembras maduras en abril (61.5%) y de octubre-diciembre (33.3%-100%). Adicionalmente, se observó la presencia de cinco organismos en transición sexual (de hembra a macho) en abril (3), mayo (1) y junio (1). La composición proximal de gónadas mostró el valor máximo de lípidos en abril (17.44%), lo cual coincidió con valor mínimo de humedad (71.25%). El valor mínimo de ceniza se observó en febrero (1.60%) en comparación con los valores obtenidos en los demás meses, mientras que la proteína se mantuvo estable (14.01%-15.25%) a través del año, sin mostrar diferencias significativas. La proporción de sexos mostró dominancia en machos de septiembre a enero (5.0:1.0-27.0:1.0), mientras que las hembras dominaron en agosto y febrero (0.3:1). Los datos obtenidos en el presente estudio serán de gran importancia para comprender el comportamiento reproductivo de *P. maculatofasciatus* en la región de Bahía de Kino, con el fin de coadyuvar en la implementación de medidas de protección para la especie y fomentar una explotación sustentable.

## ABSTRACT

Spotted sand bass, *Paralabrax maculatofasciatus* is a marine fish native of Eastern Central Pacific exploited along the year as one of the most important local fisheries in Northwest Mexico. Unfortunately, it is well known that its capture rate in the Gulf of California is significantly increased, with no regulation during the shrimp fishing season. Nowadays, there is no much information available on the reproductive aspects and biochemical characteristics of the species in the Gulf of California. In this study, the gonadal development stage, biological indexes, proximate gonad composition and sex ratio proportion were analyzed. A total of 30 wild spotted sand bass were obtained monthly from March 2017 to February 2018 from Kino Bay local fishermen. Organisms were measured, weighted and dissected in order to obtain the GSI, HSI and K. Additionally, a small portion of gonad tissue was dissected in order to carry out histological and proximate analyses. The samples for histology were preserved in Davidson's solution and stained with hemoxilin-eosin, while samples for proximate analyses were stored at -80°C, and analyzed according to AOAC methods, with exception to crude fat which were analyzed by Folch's method. The somatic indexes calculated were significantly affected ( $p < 0.05$ ) along the year in terms of HSI and GSI. The maximum HSI and GSI values were observed in February (2.24) and April (5.38), respectively, while no significant differences for K were observed. Histological analysis of gonad showed the presence of ripe males in April (50%) and from October to November (37%-37.5%), and in the case of females, the presence of mature organisms was observed in April (61.5%) and from October to December (33.3%-100%). Additionally, the presence of five transitional organisms from female to male were observed in April (3), May (1) and June (1). The proximate gonad composition showed the maximum crude fat value in April (17.44%), which coincide with the lowest moisture value (71.25%). The ash content showed its minimal value in February (1.60%), while crude protein remained stable along the year. Sex proportion showed significant male dominance from September to January (5.0:1.0 to 27.0:1.0) and contrarily, females dominated in August and February (0.3:1). These data may help to understand the reproductive behavior of *P. maculatofasciatus* in the region, in order to develop protection programs to encourage a sustainable fishery of the species in Kino Bay.



## ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
APROBACIÓN .....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
INTRODUCCIÓN .....	1
I. ANTECEDENTES .....	3
I.1 Aspectos biológicos de la familia Serranidae .....	3
I.2 Cabrilla arenera, <i>P. maculatofasciatus</i> .....	4
I.2.1 Clasificación taxonómica .....	4
I.2.2 Distribución y biología de la especie <i>P. maculatofasciatus</i> .....	5
I.2.3 Estado actual del recurso .....	6
I.3 Estrategias reproductivas y patrones sexuales en peces teleósteos .....	7
I.3.1 Patrones sexuales en la familia Serranidae .....	8
I.3.2 Aspectos reproductivos de la cabrilla arenera, <i>P. maculatofasciatus</i> .....	10
I.4 Factores que controlan la reproducción en peces .....	11
I.4.1 Ambientales .....	11
I.4.2 Vitelogénesis .....	13
II. HIPÓTESIS .....	14
III. OBJETIVOS .....	15
III.1 Objetivo general .....	15
III.2 Objetivos particulares .....	15
IV. MATERIALES Y MÉTODOS .....	16
IV.1 Colecta de las muestras de cabrilla arenera, <i>P. maculatofasciatus</i> .....	16
IV.2 Procesamiento de muestras .....	17
IV.3 Índices somáticos .....	17
IV.4 Proceso histológico .....	17
IV.5 Extracción de los otolitos y determinación de la edad de los peces .....	19
IV.6 Proporción de sexos .....	19
IV.7 Análisis proximal .....	19
IV.7.1 Determinación de lípidos .....	19
IV.7.2 Determinación de proteína .....	19
IV.7.3 Determinación de humedad .....	20
IV.7.4 Determinación de cenizas .....	20

IV.8	Análisis estadístico .....	21
V.	RESULTADOS .....	22
V.1	Temperatura y fotoperiodo .....	22
V.2	Análisis biométricos .....	23
V.2.1	Peso total (PT) .....	23
V.2.2	Longitud total (LT) .....	24
V.3	Índices biológicos .....	26
V.3.1	Índice gonadosomático (IGS) .....	26
V.3.2	Índice hepatosomático (IHS) .....	26
V.3.3	Factor de condición (K) .....	26
V.4	Composición proximal de gónada .....	28
V.5	Ciclo reproductivo de la cabrilla arenera, <i>P. maculatofasciatus</i> .....	29
V.5.1	Machos .....	32
V.5.2	Hembras .....	33
V.6	Organismos en transición .....	34
V.7	Proporción de sexos .....	34
V.8	Análisis de otolitos .....	35
VI.	DISCUSIÓN .....	37
VII.	CONCLUSIONES .....	43
VIII.	RECOMENDACIONES .....	44
IX.	LITERATURA CITADA .....	45
	ANEXOS	
I.	Preparación de la solución fijadora de Davidson (Alcohol-Formalina-Ácido acético).....	52
II.	Protocolo histológico.....	53
III.	Proceso de tinción Hematoxilina de Harris y Eosina, utilizada en el Laboratorio de Histología del DICTUS (Modificada de Lightner, 1996).....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Mapa de distribución de la cabrilla arenera, <i>P. maculatofasciatus</i> , en la región norte de México y frontera con Estados Unidos de América.	5
2	Morfología externa y características principales de la cabrilla arenera de roca (tomado de Guía FAO para la Identificación de Especies para los Fines de la Pesca. Pacífico Centro-Oriental, Heemstra y Randall, 1995).	6
3	Agregaciones reproductivas de los miembros de la familia Serranidae (imagen tomada de Aburto-Oropeza <i>et. al.</i> , 2008).	10
4	Eje reproductivo de los peces: cerebro-pituitaria-gónada (extraído de Muñoz-Cueto, 2009).	12
5	Localización geográfica del área de colecta de cabrilla arenera, <i>P. maculatofasciatus</i> , en la región de Bahía de Kino, Sonora.	16
6	Variación en la temperatura del agua y fotoperiodo en el sitio de colecta de marzo de 2017 a febrero de 2018.	22
7	Frecuencia relativa de peso total (PT) de los peces capturados de <i>P. maculatofasciatus</i> de marzo del 2017 a febrero 2018.	23
8	Media de PT mensual (g) de los peces capturados de <i>P. maculatofasciatus</i> de marzo del 2017 a febrero 2018. *Letras diferentes indican diferencias significativas.	24
9	Frecuencia relativa de longitud total (LT) de los peces capturados de <i>P. maculatofasciatus</i> de marzo del 2017 a febrero 2018.	25
10	Media de LT mensual (cm) de los peces capturados de <i>P. maculatofasciatus</i> de marzo del 2017 a febrero 2018. *Letras diferentes indican diferencias significativas.	25
11	Variación de los índices somáticos a) IGS: Índice gonadosomático, b) HSI: Índice hepatosomático y c) K: Factor de condición de la cabrilla arenera, <i>P. maculatofasciatus</i> , muestreados de marzo del 2017 a febrero del 2018. *Letras diferentes indican presencia de diferencias significativas.	27

12	Estadios de desarrollo testicular de <i>P. maculatofasciatus</i> : (A) Inmaduro/Descanso 20X, (B) En desarrollo 10X, (C) Madurez Avanzada 20X, (D) Maduro 20X y (E) Desovado 20X. Tinción Hematoxilina-Eosina. er = esperma residual, sg = espermatogonias, st = espermatidas, sz = espermas, dv = ductos vacíos, ls = espacio lobular.	30
13	Estadios de desarrollo ovárico de <i>P. maculatofasciatus</i> : (A) Inmaduro/Descanso 20X, (B) Descanso Avanzado 10X, (C) En Desarrollo 20X, (D, E) Desarrollado 10X-20X y (F) Desovado 20X. Tinción Hematoxilina-Eosina. ti = tejido indiferenciado, gi = gametogénesis inicial, ocI = ovocitos I, ocII = ovocitos II, ocIII = ovocitos III, nl = nucléolo, n = núcleo, yv = vesícula vitelina, al = estrato folicular, zr = zona radiata, oa = ovocitos atrésicos.	31
14	Frecuencia relativa (%) de los estadios reproductivos de los machos de cabrilla arenera, <i>P. maculatofasciatus</i> , muestreados de marzo de 2017 a febrero de 2018.	32
15	Frecuencia relativa (%) de los estadios reproductivos de las hembras de cabrilla arenera, <i>P. maculatofasciatus</i> , muestreados de marzo de 2017 a febrero de 2018.	33
16	Organismos de cabrilla arenera, <i>Paralabrax maculatofasciatus</i> en transición sexual (A, B) 20X: do = ovocitos en degeneración, sg = espermatogonias, st = espermatidas, sz = esperma.	34
17	Frecuencia relativa mensual de las edades de los organismos de cabrilla arenera, <i>P. maculatofasciatus</i> , capturados de marzo 2017 a febrero 2018.	36

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA		PÁGINA
1	Composición proximal de la gónada de cabrilla arenera, <i>P. maculatofasciatus</i> , durante el año de estudio.	29
2	Proporción de sexos y valores de $X^2$ con el factor de corrección de Yates para la cabrilla arenera, <i>P. maculatofasciatus</i> , de marzo de 2017 a febrero de 2018.	35

## INTRODUCCIÓN

La familia Serranidae comprende un grupo cosmopolita de peces marinos carnívoros, agrupando cerca de 450 especies, la mayoría de gran importancia comercial para las pesquerías artesanales, recreativas e industriales en países tropicales y subtropicales del mundo (Aburto-Oropeza *et al.*, 2008; Polovina y Ralston, 1987). La mayoría de las especies pertenecientes a este grupo de peces, se encuentran asociadas a los ecosistemas rocoso-arrecifales, considerándose depredadores activos de peces y crustáceos, los cuales capturan durante el crepúsculo.

En cuanto a sus aspectos reproductivos, la familia Serranidae fue considerada por bastante tiempo como un grupo de organismos hermafroditas protóginos. Sin embargo, recientemente se ha determinado que la sexualidad de los integrantes de esta familia de peces marinos es mucho más compleja y diversa de lo que anteriormente se había descrito, pudiendo exhibir gonocorismo, hermafroditismo funcional y no funcional (Sadovy y Domeier, 2005; Sadovy y Liu, 2008; Heemstra y Randall, 1993).

En el Golfo de California, la familia Serranidae se encuentra representada por 33 especies distribuidas en 11 géneros. La mayoría de estas especies habitan zonas rocosas, mientras que las restantes habitan en aguas más profundas sobre fondos arenosos (Hovey y Allen, 2000; Thomson *et al.*, 2000). Algunas de estas especies presentan una gran importancia comercial, incluso considerándose como pilares de las pesquerías regionales.

La cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, es la especie más frecuente dentro de la ictiofauna demersal explotada en la región noroeste de México, siendo abundante en ecosistemas rocosos y fondos arenosos desde la costa hasta los 60 m de profundidad. (Heemstra y Randall, 1995; Shokita *et al.*, 1991; Polovina y Ralston, 1987; Thomson *et al.*, 2000). La especie se caracteriza por presentar una coloración verdosa en la parte superior del cuerpo, mientras que el vientre suele ser de color amarillo. A su vez, las aletas y el dorso comparten pequeñas manchas redondas de color café oscuro a naranja difuso.

La cabrilla arenera es explotada por diversas artes de pesca masiva, como la pesca de arrastre, palangres de media agua, redes agalleras y líneas de captura, esto debido a su comportamiento y abundante presencia en los fondos arenosos. Sin embargo, en la actualidad no existe alguna reglamentación que regule la talla mínima de captura, época de captura y/o las

artes de pesca permitidas en la región del Golfo de California (Carta Nacional Pesquera, 2010). Adicionalmente, el recurso cabrilla se encuentra aprovechado al máximo sustentable, por lo que se recomienda evaluar a corto plazo el riesgo de mantener tasas de captura tan altas en las costas del Golfo de California, delimitar áreas de captura, así como determinar una talla mínima de captura para proteger su reproducción.

Algunos estudios realizados en la región de Bahía Magdalena en Baja California Sur, sugieren que la especie podría presentar un patrón reproductivo hermafrodita del tipo protógino, es decir, que maduren primero como hembra para después cambiar su sexo a macho. Sin embargo, lo anterior no ha sido establecido de forma definitiva debido a la falta de trabajos que lo sustenten (Avilés-Quevedo *et al.*, 1995; Garrat, 1986; Hastings, 1989; Allen *et al.*, 1995).

La localidad de Bahía de Kino se caracteriza por ser un pueblo pesquero localizado en la región central del Golfo de California, en el municipio de Hermosillo (longitud -111.940833 y latitud 28.822778). En esta región, la cabrilla arenera es explotada a través de todo el año, sin embargo, se ha reportado que la captura se intensifica de forma significativa durante la época de captura del camarón, donde se utilizan redes de arrastre (Anderson y Clark, 2003), lo que podría estar mermando las poblaciones naturales en la región.

Es por lo anterior, que el presente trabajo tiene la finalidad estudiar la biología reproductiva de la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus* en la región de Bahía de Kino, y con ello, poder brindar conocimiento del estado en el que se encuentra el recurso, esto con la finalidad de adecuar una pesquería sustentable.

## **I. ANTECEDENTES**

### **I.1 Aspectos biológicos de la familia Serranidae**

La familia Serranidae es un grupo de peces marinos integrado por una gran cantidad de especies de peso y talla variable, la cual puede ir desde pocos centímetros (cm) hasta los 2 metros (m) de longitud y logrando alcanzar hasta los 400 kilogramos (kg) de peso. Estos organismos se caracterizan por poseer un cuerpo robusto y comprimido, el cual puede ser ovalado o alargado. La boca presenta un tamaño de mediano a grande con la presencia de dientes pequeños y delgados, pero sin molares e incisivos. Las escamas laterales del cuerpo, por lo general son de tipo ctenoide, aunque se ha observado que algunas especies presentan de tipo cicloide. A su vez, estos organismos se caracterizan por presentar una sola línea lateral que se extiende hasta la base de la aleta caudal. La coloración es variable e incluso en algunas especies se ha reportado la presencia de una fase xántica (amarilla), así como patrones de coloración que pueden variar de acuerdo a la profundidad en la que habitan (Heemstra y Randall, 1993 y 1995).

La gran mayoría de estos organismos se distribuyen en ambientes tropicales y/o subtropicales alrededor del mundo y aunque presentan hábitos demersales, no es común encontrarlos en profundidades mayores a los 200 m. Los serránidos pueden habitar en zonas rocoso-arrecifales, zonas de plantas marinas y sobre fondos fangosos y/o arenosos desde donde acechan a su presa. Adicionalmente, se ha observado que los juveniles de diversas especies visitan constantemente ecosistemas estuarinos, ya sea en búsqueda de protección y/o de alimento (Estrada-Godínez *et al.*, 2011; Heemstra y Randall, 1995; Thomson *et al.* 2000).

En cuanto a sus aspectos reproductivos, diversas investigaciones señalan que los serránidos presentan diversos patrones reproductivos, siendo los más comunes el hermafroditismo sincrónico y el secuencial de tipo protógino (Aburto-Oropeza *et al.*, 2008; Sadovy y Liu, 2008; Shapiro, 1981; Yogo, 1985; Webb y Kingsford, 1992). Los hermafroditas sincrónicos presentan la capacidad de desempeñarse simultáneamente como machos y hembras, así como de expulsar los dos tipos de gametos al mismo tiempo durante el desove. A su vez, los hermafroditas secuenciales de tipo protógino maduran primeramente como hembras para después cambiar de sexo a macho o viceversa.



La mayoría de las especies de la familia Serranidae son muy apreciadas en el mercado nacional e internacional por su carne considerada de alta calidad y por el valor agregado como trofeo en pesquerías deportivas (Heemstra y Randall, 1993 y 1995; Aburto-Oropeza *et al.*, 2008). En el Golfo de California se ha reportado la presencia de alrededor de 33 especies, muchas de las cuales se consideran de gran importancia dentro de las pesquerías regionales (Thomson *et al.* 2000; Hovey y Allen, 2001). Entre las especies de mayor importancia comercial en la región se encuentran: el mero moteado, *Epinephelus analugus*, la cabrilla del Golfo, *Mycteroperca jordani*, la cabrilla sardinera, *M. rosacea* y la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus* (Carta Nacional Pesquera, 2010).

## **I.2 Cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus***

### **I.2.1 Clasificación taxonómica (ITIS, 2017)**

Reino: Animalia

Filo: Chordata

Clase: Actinopterygii

Orden: Perciformes

Suborden: Percoidei

Familia: Serranidae

Subfamilia: Serraninae

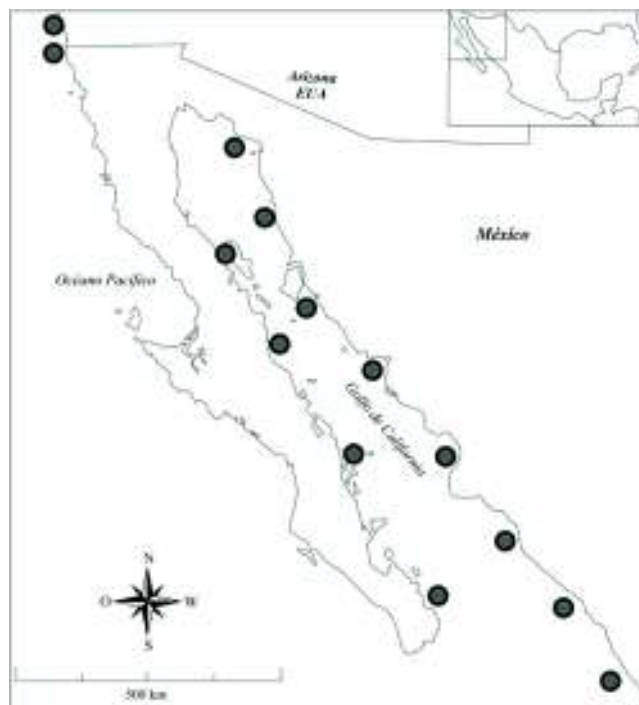
Género: *Paralabrax*

Especie: *maculatofasciatus*

(Steindachner, 1868)

### I.2.2 Distribución y biología de la especie *P. maculatofasciatus*

La cabrilla arenera o también conocida como cabrilla de roca, *P. maculatofasciatus*, es una especie nativa del Pacífico Oriental cuya distribución comprende desde el centro de California (Monterrey) hasta la punta de Baja California Sur (Cabo San Lucas), incluyendo el Golfo de California y continuando por Sinaloa (Mazatlán) hasta el límite de Oaxaca y Chiapas (Figura 1) (Thomson *et al.*, 2000; Hovey y Allen, 2001; Lluch-Cota, 1995; Stepien *et al.*, 2001). Estos organismos se distinguen por presentar manchas de tonalidad café-rojizo en la región de la cabeza, cuerpo y aletas que confluyen en la formación de franjas horizontales y verticales (Figura 2). La especie habita en fondos arenosos y/o rocosos desde la costa hasta una profundidad aproximada de 60 m donde se alimenta de pequeños peces, crustáceos y moluscos a los que acecha desde su hábitat durante las primeras horas de la mañana o las últimas de la tarde. Adicionalmente, se ha determinado que estos organismos presentan una gran capacidad euriterma, la cual les permite sobrevivir en condiciones extremas de frío invernal presentes en las aguas costeras de la región septentrional del Golfo de California (Heemstra y Randall, 1995).



**Figura 1.** Mapa de distribución de la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, en la región norte de México y frontera con Estados Unidos de América.



**Figura 2.** Morfología externa y características principales de la cabrilla arenera de roca (tomado de Guía FAO para la Identificación de Especies para los Fines de la Pesca. Pacífico Centro-Oriental, Heemstra y Randall, 1995).

### **I.2.3 Estado actual del recurso**

El recurso cabrilla se pesca de forma tradicional en el Golfo de California mediante la utilización de embarcaciones provistas de palangres o cimbras, líneas de mano, redes de enmalle de fondo y barcos escameros de arrastre. Cada embarcación, por lo general lleva dos cimbras, las cuales suelen variar tanto en dimensión como en número de anzuelos. La longitud de la línea madre (LM) puede variar entre 400 y 750 brazas (730-1,370 m), siendo comunes las de una longitud entre 600 y 750 brazas (1,097-1,370 m). La pesca de cabrilla se lleva a cabo comúnmente durante la pleamar y bajamar de cada mes, puesto que la cimbra requiere de corriente para ser más eficiente. La temporada de captura del recurso en el Alto Golfo de California abarca desde octubre a junio donde se pesca independientemente de la abundancia de otras pesquerías como la del camarón y/o jaiba. (Carta Nacional Pesquera, 2010).

De acuerdo a la carta nacional pesquera (2010), el recurso “cabrilla” está constituido por las siguientes especies: cabrilla arenera (*P. maculatofasciatus*), cabrilla pinta (*Epinephelus analogus*) y cabrilla piedra (*E. labriformis*), las cuales constituyen gran parte del volumen de

captura de las pesquerías artesanales, mismas que se llevan a cabo en zonas relativamente cercanas a la costa. Las cabrillas tienen una fuerte demanda comercial a causa de su blanca carne, textura y su apreciable sabor, lo que ocasiona que sean fuertemente explotadas.

La cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, es la especie de la ictiofauna demersal mayormente explotada a través del noroeste mexicano (Heemstra y Randall, 1995; Carta Nacional Pesquera, 2010), ya que su comportamiento dócil y gran presencia en los fondos arenosos la hace accesible a diferentes artes de pesca masiva como las redes de arrastre, redes agalleras de fondo, palangres de media agua y línea de mano. La especie se explota comercialmente durante todo el año, ya que actualmente no existe una reglamentación que regule sus capturas. Cabe señalar que, durante la pesquería de camarón, la cabrilla arenera constituye la especie más abundante en la fauna de acompañamiento, por lo que se considera que los volúmenes de captura no se apegan a la sustentabilidad (Lluch-Cota, 1995). Adicionalmente, los datos oficiales de pesca señalan que el recurso cabrilla se encuentra aprovechado al máximo sustentable en la región del Golfo de California, recomendando tomar las siguientes medidas preventivas: a) Evaluar a corto plazo los riesgos de continuar con volúmenes de captura tan altos, b) Restringir áreas de pesca para embarcaciones menores, c) Asentar áreas, vedas, cuotas y períodos de captura de las especies involucradas, y d) Establecer una talla mínima de captura con el fin de proteger su reproducción (Carta Nacional Pesquera, 2010).

### **I.3 Estrategias reproductivas y patrones sexuales en peces teleósteos**

En el desarrollo temprano de los peces, la distribución de la energía se enfoca en el crecimiento y desarrollo del individuo. Sin embargo, una vez que el organismo alcanza la madurez sexual, la mayor parte de la energía consumida se destina a las síntesis de los procesos reproductivos. Gran parte del éxito reproductivo en los peces se basa en cuándo y cómo utilizan su energía durante los procesos reproductivos (Saborido-Rey, 2008). Los peces muestran diversos modelos reproductivos y patrones sexuales, sin embargo, la mayoría son del tipo ovíparo, es decir; producen huevos con vitelo, los cuales son ovopositados en el medio acuático (Saborido-Rey, 2008; Lubzens *et al.*, 2010).

La forma reproductiva característica de una especie o población es conocida como patrón sexual. Dentro de los peces teleósteos, se pueden establecer dos principales tipos de patrones sexuales, el gonocorismo y el hermafroditismo, aunque existen algunas excepciones como el de la especie, *Poecilia formosa* (Poeciliidae), en la cual sus poblaciones están compuestas por la cruce de hembras y machos de especies gonocóricas simpátricas tales como *P. latipinna* y *P. mexicana*. Cabe señalar que a este tipo de reproducción se le conoce como ginogénesis (Yamamoto, 1969; Dries, 2003).

De acuerdo a la definición establecida por Sadovy y Liu (2008), señala que una población es gonocórica si todos los individuos que las componen se reproducen únicamente como macho o como hembra durante su ciclo de vida, independientemente de su forma gonádica; mientras que, el hermafroditismo se divide en no funcional y funcional. El hermafroditismo no funcional se establece cuando una proporción de individuos de una especie o población presenta la capacidad de producir tanto tejido testicular como ovárico de formas separadas durante su ciclo de vida. A su vez, el hermafroditismo funcional es considerado como la proporción de una especie o población en la cual sus individuos presentan la capacidad de formar tanto tejido testicular como ovárico al mismo tiempo, por lo que se pueden reproducir con ambos sexos durante su vida. En este tipo de hermafroditismo se reconocen dos patrones, el hermafroditismo de tipo simultáneo y el hermafroditismo de tipo secuencial. En el primero de ellos, los organismos se reproducen como machos y hembras al mismo tiempo o dentro de un corto periodo de tiempo, es decir durante su maduración sexual presenta tanto espermias como ovocitos. Mientras que el hermafroditismo secuencial, se puede dividir en hermafroditismo de tipo protógino y de tipo protándrico. Los hermafroditas de tipo protógino se desarrollan primeramente como hembras para luego cambiar de sexo a macho, mientras que los de tipo protándrico primeramente maduran como machos para luego cambiar de sexo a hembra.

### **I.3.1 Patrones sexuales en la familia Serranidae**

La gran mayoría de las especies de peces que integran a la familia Serranidae son organismos hermafroditas de tipo protógino. Sin embargo, estudios recientes han logrado demostrar que la sexualidad en esta familia de peces es más compleja y diversa, puesto que presentan plasticidad

fenotípica en su expresión sexual (Sadovy y Domeier, 2005; Sadovy y Liu, 2008). Adicionalmente, se han reportado tres principales tipos de patrones sexuales dentro de esta familia: 1) Gonocorismo, 2) Hermafroditismo simultáneo, y 3) Hermafroditismo secuencial protógino. A pesar de lo anterior, existen organismos hermafroditas simultáneos que cambian a hermafroditas secuenciales conforme se van desarrollando, mientras los individuos más pequeños del grupo social se reproducen como hermafroditas simultáneos, los más longevos se reproducen únicamente como machos (Hastings y Petersen, 1986; Petersen y Fisher, 1986). Adicionalmente, se ha reportado que las especies en cautiverio tienden a cambiar de sexo, lo que evidencia aún más la plasticidad fenotípica de este grupo de organismos.

En esta familia de peces marinos, los machos tienden a presentar un mayor tamaño y longevidad que las hembras y, los grupos por lo general están compuestos por un solo macho y varias hembras. Algunas investigaciones señalan que las especies de peces hermafroditas presentan tendencia a ser más sensibles a prácticas de pesca selectiva, debido a que estas pueden incidir sobre un solo sexo dentro de una población y con ello, alterar gravemente su capacidad reproductiva (Provost, 2012).

Por otra parte, se ha observado que este grupo de organismos tiende a formar agregaciones reproductivas en la región del Golfo de California, las cuales se han reportado en los meses de marzo a julio, dependiendo de la localidad. Tanto machos como hembras forman parte de un complejo ritual de apareamiento durante el día, para culminar con el desove un poco antes del ocaso. Se ha descrito que durante el desove la hembra es rodeada por más de 40 machos formando lo que se conoce como: “agrupaciones de desove” (Figura 3). Posteriormente, el grupo nada hacia la superficie mientras liberan sus gametos de forma sincronizada en todas direcciones, cubriendo gran parte del área. Cabe señalar que los organismos que practican este ritual de apareamiento son muy vulnerables a las diversas artes de pesca e incluso existen reportes que señalan que la pesquería de la curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*) y de la totoaba (*Totoaba macdonaldi*), especies que forman agrupaciones reproductivas, han colapsado en la región del Alto Golfo de California por llevar a cabo la pesca durante su periodo reproductivo (Paredes *et al.*, 2010; Aburto-Oropeza *et al.*, 2008).



**Figura 3.** Agregaciones reproductivas de los miembros de la familia Serranidae durante la temporada reproductiva (imagen tomada de Aburto-Oropeza *et al.*, 2008).

### **I.3.2 Aspectos reproductivos de la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus***

El género *Paralabrax* es particularmente interesante por su posición filogenética dentro de la familia Serranidae, ya que se considera como una subfamilia basal debido a sus aspectos morfológicos genéticos y reproductivos (Allen *et al.*, 1995; Gosline, 1966; Lauder y Liem, 1983; Baldwin y Johnson, 1993; Craig *et al.*, 2001; Craig *et al.*, 2006). Cabe señalar que durante décadas, se ha presentado la dificultad en establecer los patrones reproductivos de estos organismos, ya que se ha reportado como una especie gonocórica y/o hermafrodita secuencial protógina. Esta variación podría estar basada en errores de interpretación y terminología, aunque podría deberse a que la especie presente la capacidad de exhibir diversos patrones reproductivos,

los cuales requieren un mayor número de estudios para poder entender del todo sus aspectos reproductivos.

De acuerdo a algunos estudios llevados a cabo en Bahía de La Paz, en Baja California Sur, señalan que la población de *P. maculatofasciatus* puede exhibir un patrón reproductivo tanto gonocórico como de hermafroditismo. Mientras que, en otros estudios llevados a cabo en la región de Bahía Magdalena, en Baja California Sur, la especie parece comportarse como hermafrodita protógino (Lluch-Cota, 1995). Con base en lo anterior, se podría evidenciar la plasticidad fenotípica de la cabrilla arenera, ya que hasta el momento existe suficiente evidencia para establecer que la especie puede presentar la capacidad de adoptar diferentes tipos de comportamientos reproductivos, de acuerdo a ciertas condiciones, las cuales no han sido del todo comprendidas.

## **I.4 Factores que controlan la reproducción en peces**

### **I.4.1 Ambientales**

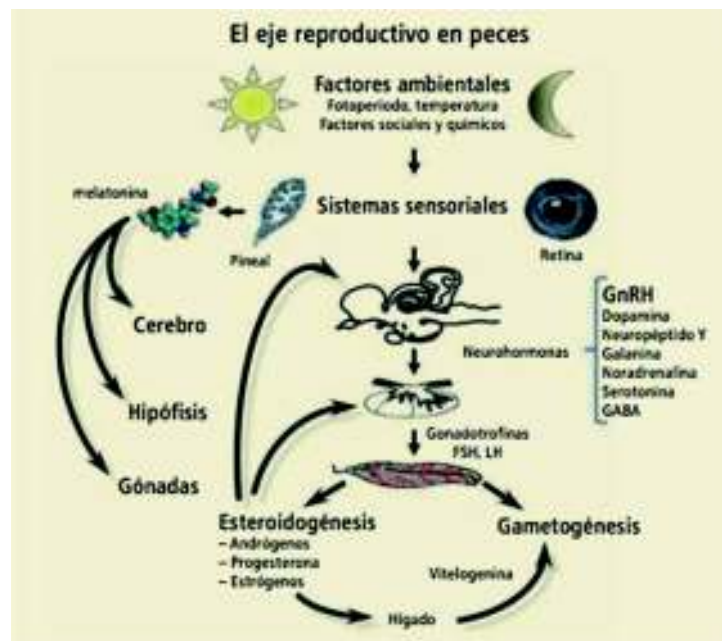
Para que el proceso reproductivo se lleve a cabo con éxito, es necesaria una sincronización entre los organismos y el medio ambiente, ya que esto permitirá que el desove se desarrolle cuando las condiciones sean las más favorables, asegurando la supervivencia de la progenie. Esta sincronización entre el sistema biológico de cada individuo y el medio externo resulta de gran importancia, ya que estos organismos habitan en un medio ambiente que experimenta marcados cambios en cuanto a sus variables fisicoquímicas a través del año. Es por ello, que cada individuo debe presentar la eficiencia de un sistema que reciba e integre la información proveniente tanto del interior como del exterior, con el fin de regular al sistema endócrino para que lleve a cabo los eventos reproductivos (Clark *et al.*, 2005; Zohar y Mylonas, 2001).

Las señales ambientales como la temperatura y el fotoperiodo son traducidas en señales hormonales, las cuales regulan los procesos de gametogénesis en los peces. De acuerdo a algunos estudios, el fotoperiodo desempeña la función más importante en términos de maduración seguido por la temperatura. Además, también se encuentran otros factores ambientales secundarios como los fenómenos gravitacionales, presencia de depredadores, compuestos químicos, salinidad, entre otros (Carrillo *et al.*, 1989). Los cambios de intensidad



luminosa son recibidos por los ojos y la glándula pineal de los organismos, la cual se encarga de la secreción de melatonina (Bromage *et al.*, 2001, Maitra *et al.*, 2006). En regiones tropicales, el fotoperiodo se mantiene casi constante a través de las estaciones, mientras que la temperatura apenas y presenta ligeras variaciones de acuerdo a la estación. Se ha comprobado que los organismos que habitan en las zonas tropicales, por lo general presentan una reproducción continua a lo largo del año. A pesar de lo anterior, la mayoría de las veces se presentan puestas asociadas a la variación anual de temperatura (Davies y Bromage, 2002; Carrillo, 1989).

La gran capacidad que presentan los peces en cuanto a la adaptación a su medio y el éxito reproductivo es posible en gran medida por la función integradora del cerebro, así como por las señales hormonales que tienen origen en órganos específicos. Como consecuencia de las señales captadas del medio externo e interno, el cerebro sintetiza y libera hormonas a través de la hipófisis, las cuales siguen patrones rítmicos bien definidos guiados por el eje Cerebro-Hipófisis-Gónada (Fig. 4). El resultado de la interacción hormonal es la respuesta fisiológica de carácter periódico que afecta los ritmos biológicos de los peces, como lo son su actividad motora, nutricional y reproductiva. Es por ello, que la actividad reproductiva en peces está restringida a épocas muy específicas del año, las cuales suelen ser las más favorables para asegurar el éxito reproductivo de la especie (Clark *et al.*, 2005; Carrillo *et al.*, 1989).



**Figura 4.** Eje reproductivo cerebro-pituitaria-gónada (extraído de Muñoz-Cueto, 2009).

## **I.4.2 Vitelogénesis**

Una vez que las hembras que conforman una población cuentan con suficientes reservas energéticas, éstas sufren una serie de procesos altamente ordenados conocidos como vitelogénesis, en donde se lleva a cabo la síntesis y adición de compuestos de reserva dentro de los ovocitos (Mellinger, 2002). Durante la vitelogénesis la hormona estimulante del folículo (FSH) y la hormona luteinizante (LH) llegan del torrente sanguíneo a las gónadas, regulando en las células de la teca la producción de testosterona a partir del colesterol, el cual es liberado y adherido a la capa granulosa donde es aromatizado a  $17\beta$ -estradiol y liberado al sistema circulatorio en donde estimula la síntesis de la vitelogenina (Nagahama, 1987). Posteriormente, la vitelogenina llega al ovario a través del torrente sanguíneo y se adhiere a receptores específicos localizados en la superficie del oocito mediante pinocitosis y una vez dentro, la vitelogenina sufre proteólisis dando origen a la lipovitelina y a la fosfovítina, componentes de los gránulos de vitelo.

El proceso de vitelogénesis comprende la incorporación de vitelo al citoplasma, el cual está conformado por lípidos, proteínas, ácidos nucleicos y en menor medida carbohidratos que fungen como fuente de energía durante el desarrollo embrionario después de llevada a cabo la fecundación. El vitelo se deposita en forma de gotas, vesículas y gránulos de consistencia lipídica, durante esta fase la vitelogénesis se divide en: a) Vitelogénesis endógena y, b) Vitelogénesis exógena. En la primera de ellas, las gotas de aceite y las vesículas se producen dentro del oocito, interviniendo en el proceso el retículo endoplasmático y el aparato de Golgi; mientras que en la vitelogénesis exógena, los gránulos de vitelo se producen a partir de la vitelogenina y fosfolipoproteína, sustancias las cuales son producidas y secretadas por el hígado (Hopson y Wessells, 1990).

## **II. HIPÓTESIS**

Al igual que la que gran parte de los peces marinos que habitan en el Golfo de California, la reproducción de la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, estará influenciada por los cambios en temperatura y fotoperiodo a través del año.

### **III. OBJETIVOS**

#### **III.1 Objetivo general**

Estudiar la biología reproductiva de la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, en la región de Bahía de Kino, Sonora.

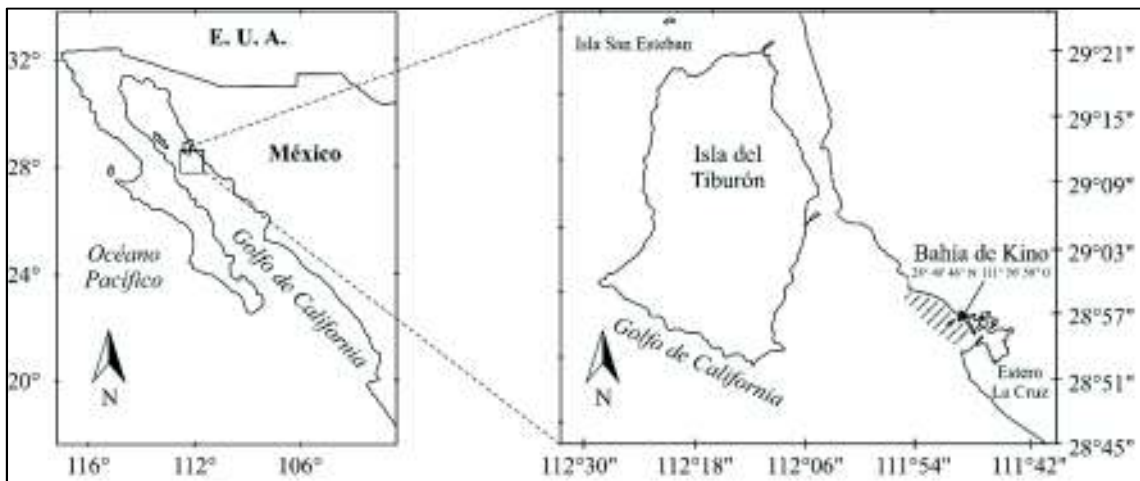
#### **III.2 Objetivos particulares**

- a) Determinar el ciclo reproductivo de la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, en la región de Bahía de Kino mediante la utilización de técnicas histológicas.
- b) Determinar los índices somáticos: factor de condición (K), índice gonadosomático (IGS) e índice hepatosomático (IHS).
- c) Analizar la composición proximal de las gónadas en términos de lípido, proteína, humedad y ceniza.
- d) Determinar la proporción de sexos de la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*.
- e) Determinar la edad de la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, con base en la lectura de la estructura ósea de los otolitos.

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### IV.1 Colecta de las muestras de cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*

Se obtuvieron mensualmente 30 organismos de cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, a través de los pescadores ribereños de Bahía de Kino (Figura 5). Los peces fueron capturados de marzo del 2017 hasta febrero del 2018 mediante la utilización de jaulas aceradas de 40x40x50 cm, las cuales fueron colocadas a través de la bahía. Cabe señalar que en el presente estudio sólo se contemplaron organismos con una longitud total mayor a 10 cm, ya que son organismos con la capacidad de reproducirse (Hastings, 1989). Adicionalmente, los datos de temperatura de la zona de captura se obtuvieron de la página oficial de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (<http://www.coastwatch.noaa.gov>), mientras que el fotoperiodo se tomó de la siguiente base de datos: <http://www.usno.navy.mil/USNO/astronomical-applications/data-services/rs-one-day-world>.



**Figura 5.** Localización geográfica del área de colecta de cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, en la región de Bahía de Kino, Sonora.

## IV.2 Procesamiento de muestras

Las muestras obtenidas de cada uno de los meses de muestreo se transportaron a la Unidad Experimental Kino (UEK) del Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora (DICTUS), donde se registró la longitud total (LT) y el peso total (PT) de cada uno de los organismos con la ayuda de un ictiómetro y una balanza analítica (OHAUS, modelo Pionner), respectivamente. Posteriormente, se disectó cada uno de los peces con el fin de extraer y pesar tanto la gónada como el hígado. Una vez registrado el peso, se tomaron biopsias de la gónada para llevar a cabo los análisis histológicos y proximales. Las muestras para histología se colocaron en casetes debidamente etiquetados, para posteriormente ser inmersas en solución Davidson AFA (alcohol-formol-ácido acético) como solución fijadora, mientras que las muestras para llevar a cabo los análisis proximales fueron debidamente etiquetadas y almacenadas en un ultra congelador a -80 °C. Finalmente, se llevó a cabo la extracción de los otolitos de cada uno de los peces mediante una incisión en el área craneal.

## IV.3 Índices somáticos

Una vez llevado a cabo el procesamiento de las muestras, se obtuvieron los valores necesarios para estimar los índices somáticos como el factor de condición (K), índice gonadosomático (IGS) e índice hepatosomático (IH) mediante las siguientes fórmulas:

$$\text{Factor de condición} = (W_t/L_t)^3 \times 100$$

$$\text{Índice gonadosomático} = (W_g/W_t) \times 100$$

$$\text{Índice hepatosomático} = (W_h/W_t) \times 100$$

Donde:  $W_t$  es el peso total del pez (g),  $L_t$  es la longitud total (cm),  $W_g$  es el peso de la gónada (g) y  $W_h$  es el peso del hígado (g).

#### **IV.4 Proceso histológico**

Las gónadas de los peces colectados se colocaron en solución Davidson AFA (Anexo I) durante 24 horas (h) con el fin de preservar el tejido (Thomas y Donald, 1988). Una vez transcurrido el tiempo de fijación, se realizó un corte transversal en la gónada de cada uno de los organismos y posteriormente, las muestras se colocaron en casetes para histología debidamente etiquetados. Las muestras fueron deshidratadas en un deshidratador automático modelo KEDEE programado para 12 h, utilizando una concentración creciente de alcohol (80%-100%), alcohol-xileno (1:1), xileno y parafina, como proceso de pre-inclusión (Anexo II). Una vez deshidratadas las muestras, éstas fueron incluidas en parafina en un inclusor (Leica, modelo EG-1160) para formar bloques histológicos por triplicado, los cuales fueron almacenados durante 24 h a una temperatura de -20 °C. Después de transcurrido el tiempo, los bloques fueron cortados a un grosor de cinco micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) con la ayuda de un microtomo rotatorio semiautomático (SLEE, modelo CUT-5062). Los cortes se colocaron en un baño maría para tejido histológico, a una temperatura de 40 °C, para después ser montados en un portaobjetos debidamente etiquetado. Los cortes fueron desparafinados durante dos horas en un horno (Yamato, modelo DX-302-C) a 75 °C. Una vez eliminado el exceso de parafina, las muestras se dejaron enfriar a temperatura ambiente, para después ser teñidas con la técnica Hematoxilina-Eosina (Anexo III). Finalmente, los portaobjetos se montaron en resina, colocándose un cubreobjetos a cada una de las laminillas. La lectura de las laminillas se llevó a cabo utilizando un microscopio óptico (Leica Microsystems DM1000, Wetzlar, Germany) equipado con una cámara interna (Moticam Pro, 282A). Las imágenes fueron adquiridas mediante el programa Motic Images Plus 2.0 software (Motic, Richmond, BC, Canadá), mientras que la interpretación de los estadios de madurez sexual se basó en el criterio establecido por Andrade *et al.* (2003). Adicionalmente, el criterio para el diagnóstico de hermafroditismo se basó en lo establecido por Sadovy y Shapiro (1987).

#### **IV.5 Extracción de los otolitos y determinación de la edad de los peces**

La extracción de los otolitos se llevó a cabo mediante una incisión transversal en el cráneo de los peces. Después, con unas pinzas de punta delgada se procedió a retirarlos de las cavidades laterales del cráneo. Los otolitos extraídos se lavaron con agua corriente y se dejaron secar para después colocarse en tubos de ensaye debidamente etiquetados. Las muestras fueron pulidas cuidadosamente y aclaradas por un tiempo de 12 h en una solución de xileno/resina (1:1). Para llevar a cabo la determinación de la edad de los peces, se utilizó la metodología descrita por la FAO (1992), la cual consiste de forma general, en el conteo de las bandas claras y oscuras del otolito, cada una con valor de seis meses en la vida del pez. La observación de las bandas se llevó a cabo utilizando un microscopio óptico (Leica Microsystems DM1000, Wetzlar, Germany).

#### **IV.6 Proporción de sexos**

Mensualmente se obtuvo la proporción sexual de la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, dividiendo el número total de machos entre el número total de hembras.

#### **IV.7 Análisis proximal**

##### **IV.7.1 Determinación de lípidos**

La determinación de lípidos en el tejido de gónada de la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, se llevó a cabo mediante el método gravimétrico descrito por Folch *et al.* (1957), el cual utiliza cloroformo/metanol (2:1) como solvente. La cuantificación se realizó mediante una alícuota de cinco mililitros (ml) de extracto. El contenido total de lípido se expresó como porcentaje de tejido húmedo.

##### **IV.7.2 Determinación de proteína**

La determinación de proteína se realizó mediante la combustión de tejido en un analizador de nitrógeno Dumas (Modelo 702 NDA, VELP® Scientifica, Usmate, Italia), de acuerdo a lo establecido por el método 968.06 de la AOAC (2005).



#### **IV.7.3 Determinación de humedad**

La humedad de la muestra se determinó mediante el método 930.15 de la AOAC (2005). Para ello, se pesaron con exactitud 5 g de muestra utilizando una balanza analítica (Precisa, Mod. XT 220 A). Posteriormente, se colocaron en un horno de secado (Terlab, Mod. 12554) a 105 °C y se secaron durante 4 h. La muestra se retiró de la estufa y se dejó enfriar en un desecador durante 40 minutos (min). Finalmente, la muestra seca se pesó en una balanza analítica y el porcentaje de humedad se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{peso crisol} + \text{muestra húmeda} - \text{peso crisol} + \text{muestra seca}}{\text{peso de muestra húmeda}} \times 100$$

#### **IV.7.4 Determinación de cenizas**

La determinación de cenizas se llevó a cabo mediante el método 942.05 de la AOAC (2005). Para ello, se utilizó la muestra previamente utilizada en la determinación de humedad. La muestra se pesó en una balanza analítica y se colocó en un crisol de porcelana. La muestra se incineró en una mufla (Thermolyne 6000, Mod. F6028C, Dubuque, Iowa, USA) a 600 °C durante 5 h. Una vez transcurrido el tiempo, la muestra se colocó durante 30 min en la estufa a 100 °C, luego se enfrió en un desecador durante 40 min y finalmente se pesó. El porcentaje de cenizas se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{peso crisol con cenizas} - \text{peso crisol vacío}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

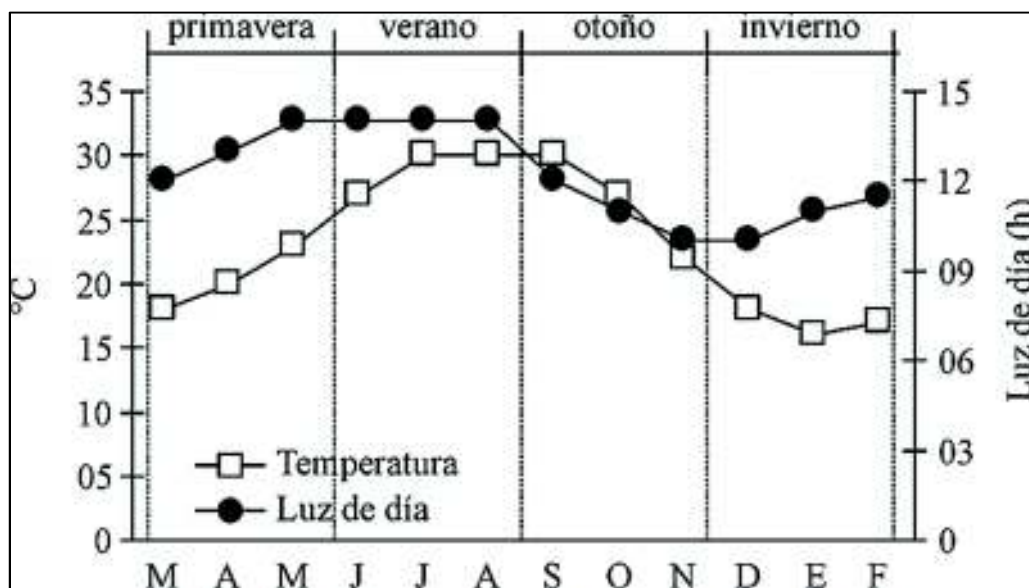
#### **IV.8 Análisis estadístico**

Los datos obtenidos para los índices somáticos y para los análisis proximales, se analizaron mediante el análisis de varianza (ANOVA) de una vía de clasificación. Adicionalmente, se utilizó la prueba de Duncan como separador de medias en caso de presentarse diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) (Zar, 1999). Para los datos de proporción de sexos se aplicó el factor de corrección de Yates y las diferencias en la proporción fueron determinadas por la prueba de  $\chi^2$ . Los datos obtenidos en el presente estudio fueron analizados por el programa XLSTAT ® (2014) con un software para Windows (versión 8.1, Addinsoft).

## V. RESULTADOS

### V.1 Temperatura y fotoperiodo

Los valores registrados de temperatura y fotoperiodo en la zona de muestreo fluctuaron a través del año (Figura 6). De marzo a julio se registró un incremento tanto de la temperatura como del fotoperiodo, alcanzando un valor máximo de 30.0 °C y 14:10 h, respectivamente, mientras que de julio a septiembre la temperatura se estabilizó en 30.0 °C, sin embargo, se observó una disminución de las horas luz (12.5:11.5 h). De octubre a diciembre, se registró una disminución de ambos parámetros, los cuales fueron de 27 a 18 °C y de 11.5:12.5 h a 10:14 h, respectivamente, mientras que en enero se registró el valor mínimo de temperatura (16 °C), sin embargo, se observó un incremento de las horas luz y ya para febrero, los valores registrados para ambos parámetros se incrementaron simultáneamente.

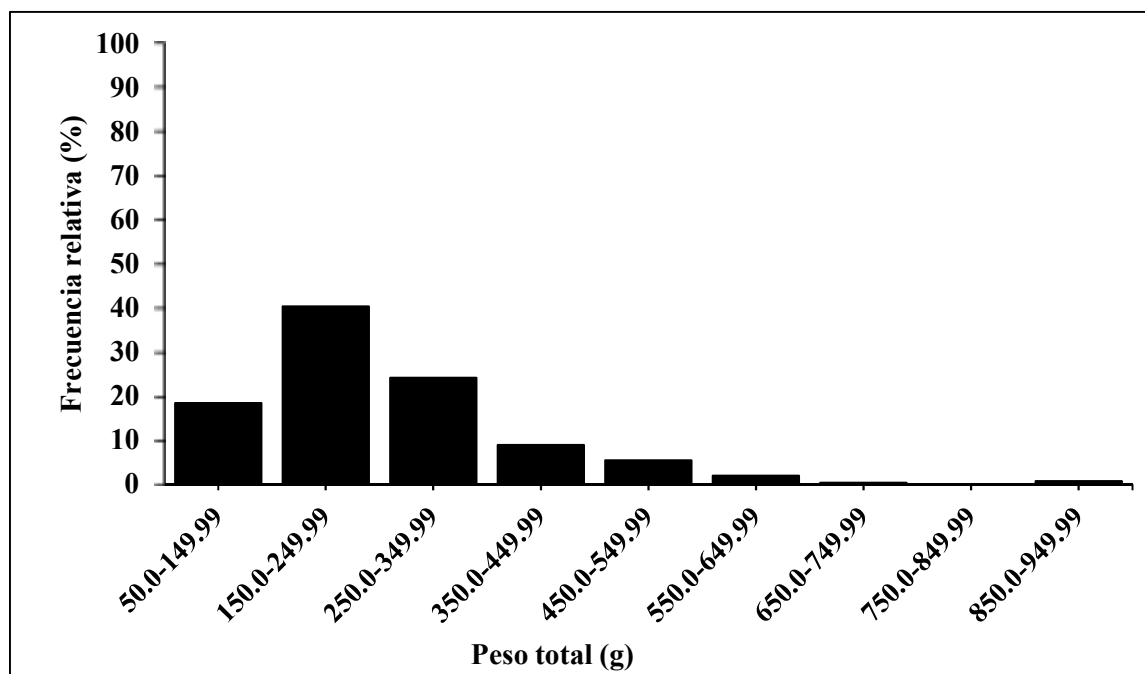


**Figura 6.** Variación en la temperatura del agua y fotoperiodo en el sitio de colecta de marzo del 2017 a febrero 2018.

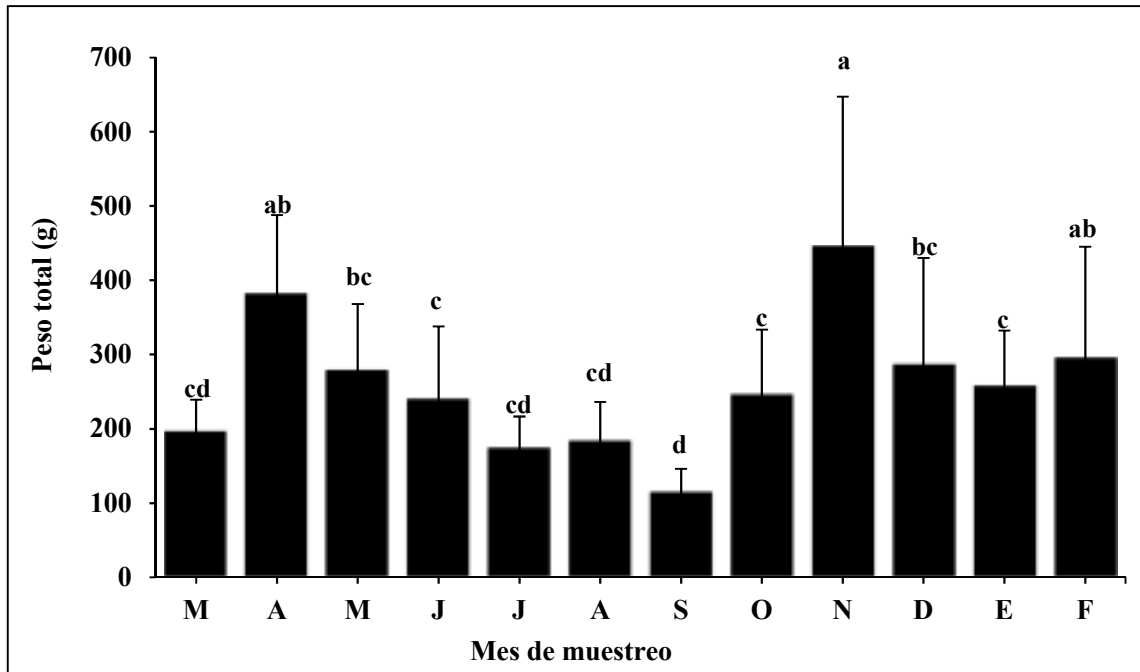
## V.2 Análisis biométricos

### V.2.1 Peso total (PT)

En un periodo de doce meses de muestreo (marzo 2017-febrero 2018), se colectaron un total de 360 organismos de cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, con un PT promedio de  $253.20 \pm 129.50$  g, donde el 82 % de los peces capturados se encontraron en un intervalo de peso de 50.0-349.99 g, mientras que la mayor frecuencia de organismos se registró en el intervalo de 150.0-249.99 g, lo cual representó el 40 % del total de peces capturados (Figura 7). Adicionalmente, se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en cuanto a la media mensual de PT durante los meses de colecta, destacando que en el mes de noviembre se observó el valor máximo de la media de PT ( $445.68 \pm 201.70$  g) en comparación con el resto de los meses de muestreo, a excepción de los analizados en los meses de abril ( $381.25 \pm 106.67$  g) y febrero ( $295.06 \pm 150.20$  g). De manera contraria, los valores mínimos de la media mensual de PT se observaron en el mes de septiembre ( $114.68 \pm 31.47$  g) en comparación con el resto de los meses de muestreo, a excepción de los que fueron analizados en marzo ( $196.02 \pm 43.05$  g), julio ( $173.81 \pm 42.80$  g) y agosto ( $183.26 \pm 53.02$  g) (Figura 8).



**Figura 7.** Frecuencia relativa de peso total (PT) de los peces capturados de *P. maculatofasciatus* de marzo del 2017 a febrero 2018.

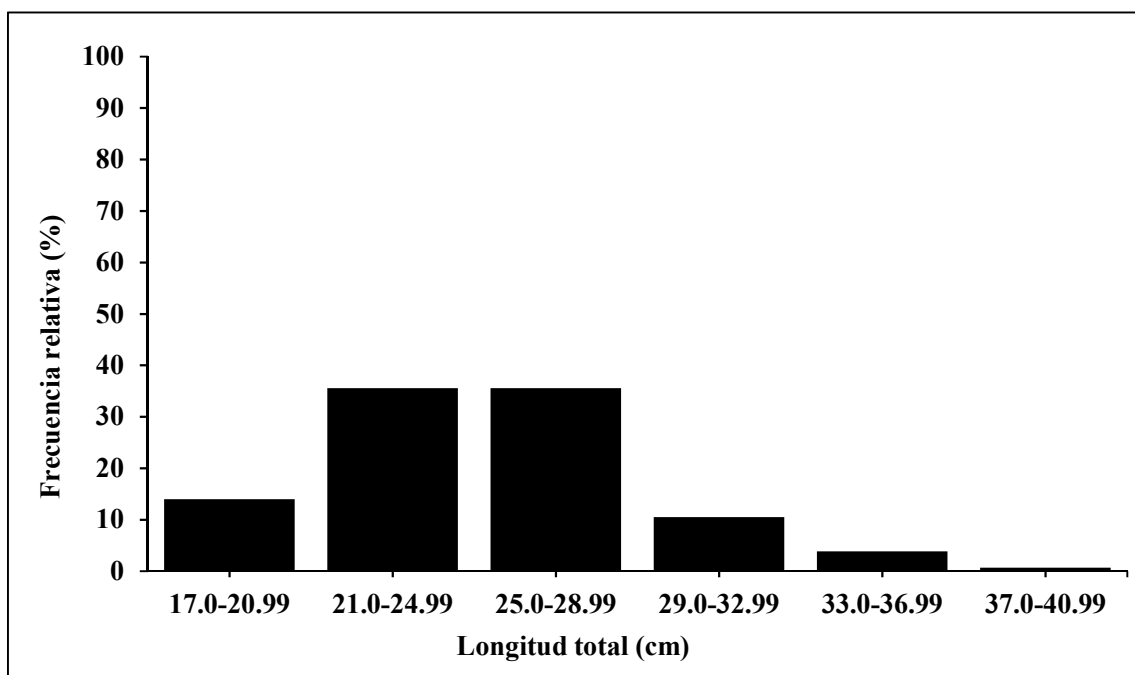


**Figura 8.** Media de PT mensual (g) de los peces capturados de *P. maculatofasciatus* de marzo del 2017 a febrero 2018. \*Letras diferentes indican diferencias significativas.

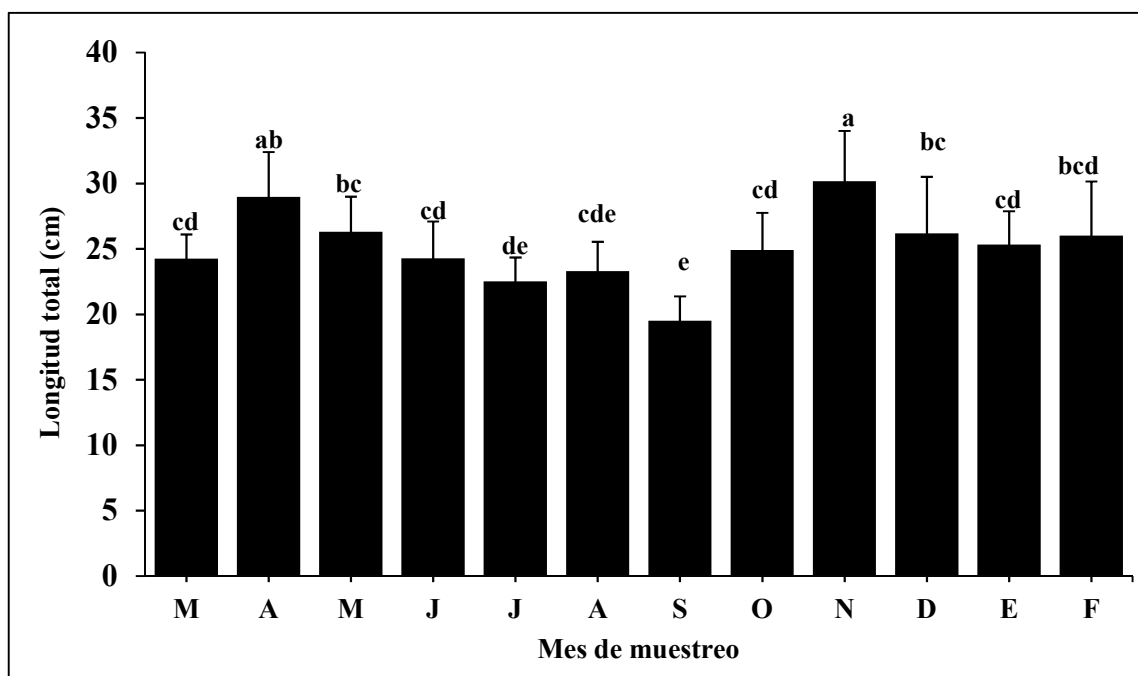
### V.2.2 Longitud total (LT)

La LT promedio de los peces capturados durante los meses de muestreo fue de  $25.0 \pm 3.93$  cm, donde el 86 % de los ejemplares está representado en un intervalo de 17.0 a 28.99 cm, mientras que la mayor frecuencia de talla se observó en los intervalos de 21.0 a 24.99 cm y de 25.0 a 28.99 cm, representando el 72 % del total de los peces capturados (Figura 9).

Adicionalmente, se detectaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en cuanto a la media mensual de LT de los organismos, destacando que en el mes de noviembre se observó el valor máximo de la media de LT ( $30.15 \pm 3.85$  cm) en comparación con el resto de los meses de muestreo, a excepción de los analizados en el mes de abril ( $28.97 \pm 3.43$  cm). De forma contraria, los peces de menor longitud se observaron en el mes de septiembre ( $19.50 \pm 1.87$  cm), en comparación de los peces capturados en el resto de los meses de muestreo, a excepción de los analizados en los meses de junio ( $24.27 \pm 2.82$  cm) y agosto ( $23.28 \pm 2.25$  cm) (Figura 10).



**Figura 9.** Frecuencia relativa de longitud total (LT) de los peces capturados de *P. maculatofasciatus* de marzo del 2017 a febrero 2018.



**Figura 10.** Media de LT mensual (cm) de los peces capturados de *P. maculatofasciatus* de marzo del 2017 a febrero 2018. \*Letras diferentes indican diferencias significativas.

### **V.3 Índices biológicos**

#### **V.3.1 Índice gonadosomático (IGS)**

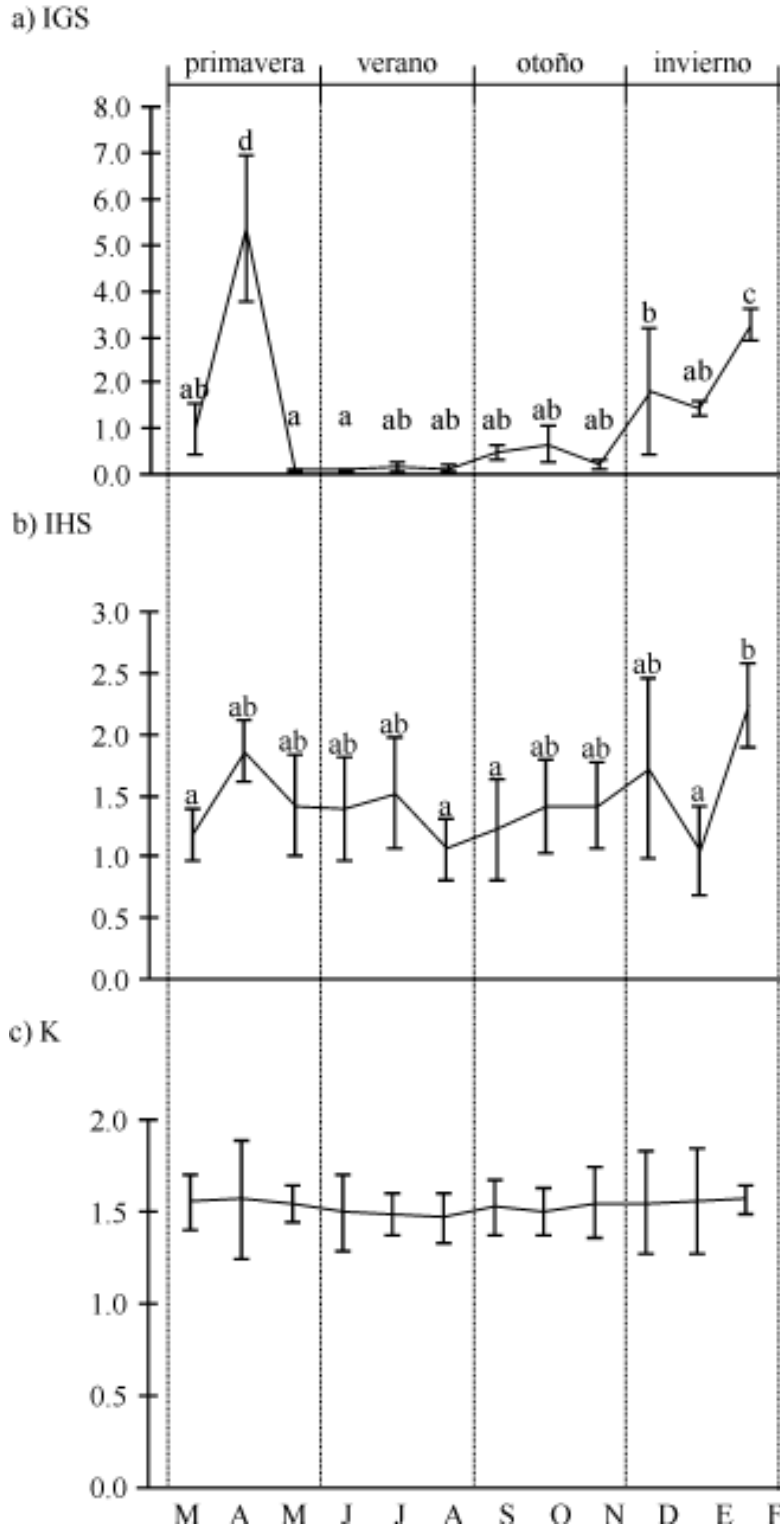
Los valores de IGS de la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, mostraron una variación significativa ( $P < 0.05$ ) a través de los meses de muestreo, donde los valores promedio fluctuaron de 0.08 a 5.38 %. Los valores máximos se registraron en los peces procedentes de los meses de abril ( $5.38 \pm 2.59$  %) y febrero ( $5.25 \pm 2.95$  %) en comparación con los organismos pertenecientes al resto de los meses evaluados, mientras que los valores mínimos se observaron en los organismos capturados durante los meses de mayo y junio, mostrando valores de 0.09 y 0.08 %, respectivamente (Figura 11a).

#### **V.3.2 Índice hepatosomático (IHS)**

Los valores de IHS de la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, mostraron una variación significativa ( $P < 0.05$ ) a través de los meses de muestreo, donde los valores promedio fluctuaron de 1.06 a 2.24 %. Los valores máximos se registraron en los peces procedentes del mes de febrero ( $2.24 \pm 0.34$  %) en comparación con los organismos capturados en los meses de marzo ( $1.18 \pm 0.22$  %), agosto ( $1.06 \pm 0.26$  %), septiembre ( $1.22 \pm 0.41$  %) y enero ( $1.05 \pm 0.36$  %) (Figura 11b).

#### **V.3.3 Factor de condición (K)**

Los valores promedio del K de la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, oscilaron de 1.46 a 1.56%, sin mostrar diferencias significativas entre los peces capturados a través de los doce meses. Sin embargo, los valores del factor de condición de los peces capturados en los meses de junio (1.49 %), julio (1.48%) y agosto (1.46%) fueron numéricamente más bajos, y contrariamente, los datos obtenidos en los meses de febrero (1.56%) y abril (1.56%) fueron los más altos (Figura 11c).



**Figura 11.** Variación de los índices somáticos a) IGS: Índice gonadosomático, b) HSI: Índice hepatosomático y c) K: Factor de condición de la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, muestreados de marzo del 2017 a febrero del 2018. \*Letras diferentes indican presencia de diferencias significativas.



#### **V.4 Composición proximal de gónada**

La composición proximal del tejido de gónada de la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, mostró diferencias significativas entre los meses de muestreo en términos de lípido, humedad y cenizas, pero no para proteína (Tabla 1).

##### *Lípidos*

Los valores de lípido en el tejido de gónada mostraron variación significativa, donde el valor máximo se observó en las muestras pertenecientes al mes de abril ( $17.44 \pm 0.34$  %) en comparación con los demás meses, contrariamente los valores más bajos se observaron en los meses de junio ( $6.54 \pm 1.47$  %), julio ( $6.65 \pm 1.10$  %), agosto ( $6.20 \pm 1.13$  %) y enero ( $6.93 \pm 0.49$  %).

##### *Humedad*

Los valores de humedad en el tejido de gónada mostraron una variación significativa, contrariamente a como se observó para los valores de grasa cruda, los valores más altos se observaron en los meses de junio ( $77.95 \pm 0.97$  %), julio ( $78.22 \pm 1.2$  %) y agosto ( $77.76 \pm 1.80$  %), mientras que el valor mínimo se registró en el mes de abril ( $71.25 \pm 0.46$  %). Adicionalmente, se observó una disminución de los valores de humedad mientras los valores de lípido aumentaban, mostrando un comportamiento antagónico.

##### *Cenizas*

Los valores de ceniza en el tejido de gónada variaron significativamente a través de los meses, encontrándose el valor mínimo en el mes de febrero ( $1.60 \pm 0.35$  %) en comparación con los valores obtenidos en los meses de mayo ( $2.70 \pm 0.24$  %), junio ( $2.87 \pm 0.15$  %), agosto ( $2.79 \pm 0.67$  %), septiembre ( $3.14 \pm 0.36$  %) y enero ( $3.10 \pm 0.70$  %).

##### *Proteína*

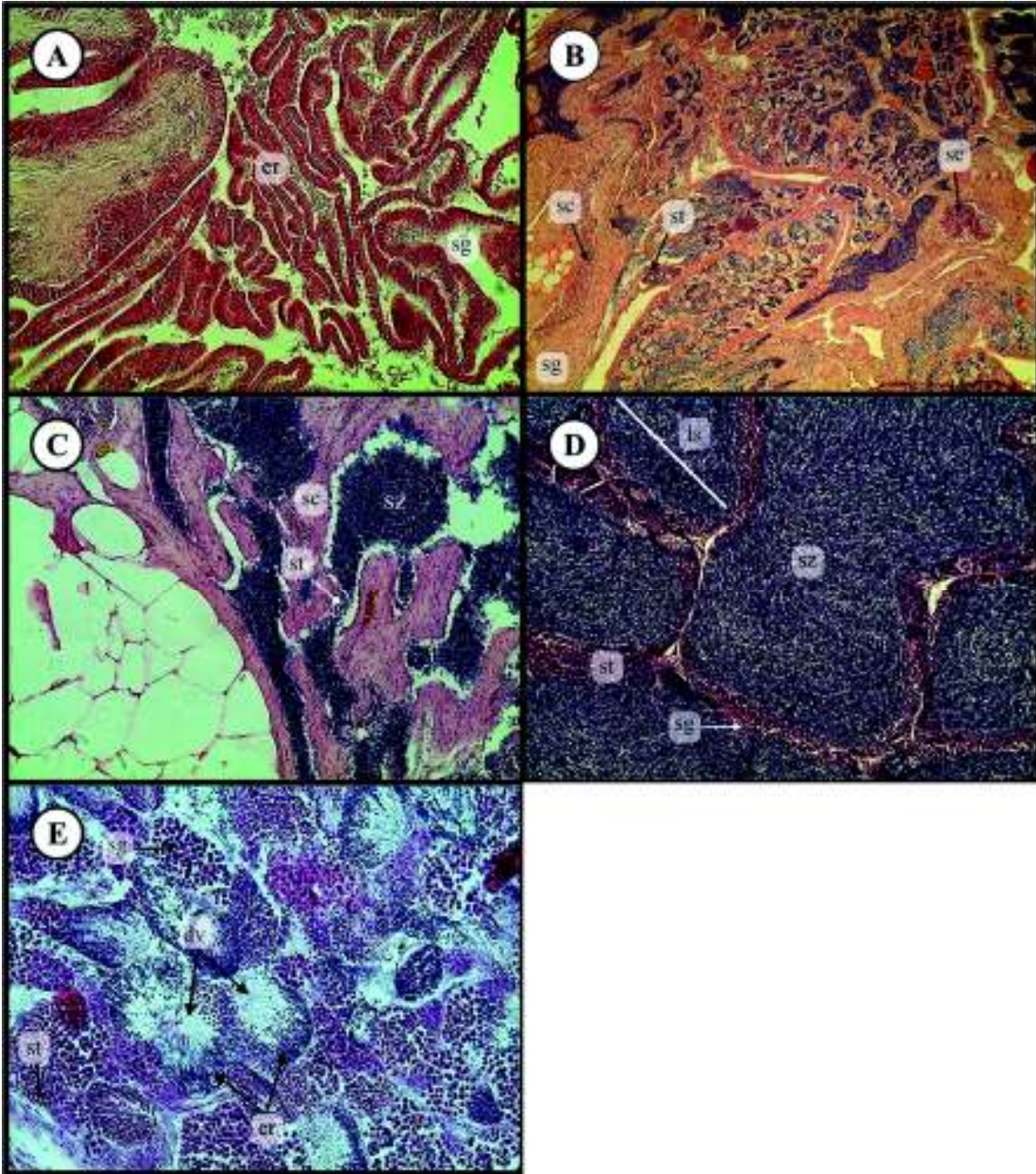
Los valores de proteína en el tejido de gónada no mostraron diferencias significativas entre los organismos capturados a través de los 12 meses de muestreo, por lo que los valores se mantuvieron en un rango de  $14.01 \pm 0.84$  % a  $15.25 \pm 0.50$  %.

**Tabla 1.** Composición proximal de la gónada de cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, de marzo de 2017 a febrero de 2018.

Mes	Lípido (%)	Proteína (%)	Humedad (%)	Cenizas (%)
Marzo	10.07 <sup>bc</sup> ± 0.34	15.21 ± 2.03	75.37 <sup>b</sup> ± 0.40	2.07 <sup>ab</sup> ± 0.12
Abril	17.44 <sup>c</sup> ± 0.54	14.40 ± 0.84	71.25 <sup>a</sup> ± 0.46	2.05 <sup>ab</sup> ± 0.05
Mayo	11.30 <sup>bcd</sup> ± 3.18	14.62 ± 0.66	72.85 <sup>ab</sup> ± 1.76	2.70 <sup>b</sup> ± 0.24
Junio	6.54 <sup>a</sup> ± 1.47	15.25 ± 0.50	77.95 <sup>c</sup> ± 0.97	2.87 <sup>b</sup> ± 0.15
Julio	6.65 <sup>a</sup> ± 1.10	14.71 ± 0.63	78.22 <sup>c</sup> ± 1.2	2.31 <sup>ab</sup> ± 0.50
Agosto	6.20 <sup>a</sup> ± 1.13	14.01 ± 0.84	77.76 <sup>c</sup> ± 1.80	2.79 <sup>b</sup> ± 0.67
Septiembre	9.15 <sup>abc</sup> ± 0.35	14.98 ± 0.79	74.93 <sup>b</sup> ± 0.86	3.14 <sup>b</sup> ± 0.36
Octubre	8.90 <sup>ab</sup> ± 0.96	15.18 ± 0.91	74.45 <sup>b</sup> ± 0.50	2.60 <sup>ab</sup> ± 0.40
Noviembre	8.83 <sup>ab</sup> ± 0.34	14.93 ± 1.57	75.16 <sup>b</sup> ± 0.66	2.55 <sup>ab</sup> ± 0.58
Diciembre	12.04 <sup>cd</sup> ± 0.35	14.49 ± 0.65	73.93 <sup>b</sup> ± 0.73	2.65 <sup>ab</sup> ± 0.50
Enero	6.93 <sup>a</sup> ± 0.40	14.69 ± 1.41	75.42 <sup>b</sup> ± 1.50	3.10 <sup>b</sup> ± 0.70
Febrero	13.60 <sup>d</sup> ± 0.19	14.52 ± 0.59	73.18 <sup>ab</sup> ± 1.30	1.60 <sup>a</sup> ± 0.35
ANOVA (Pr>F)	0.0001	0.951	0.0001	0.003

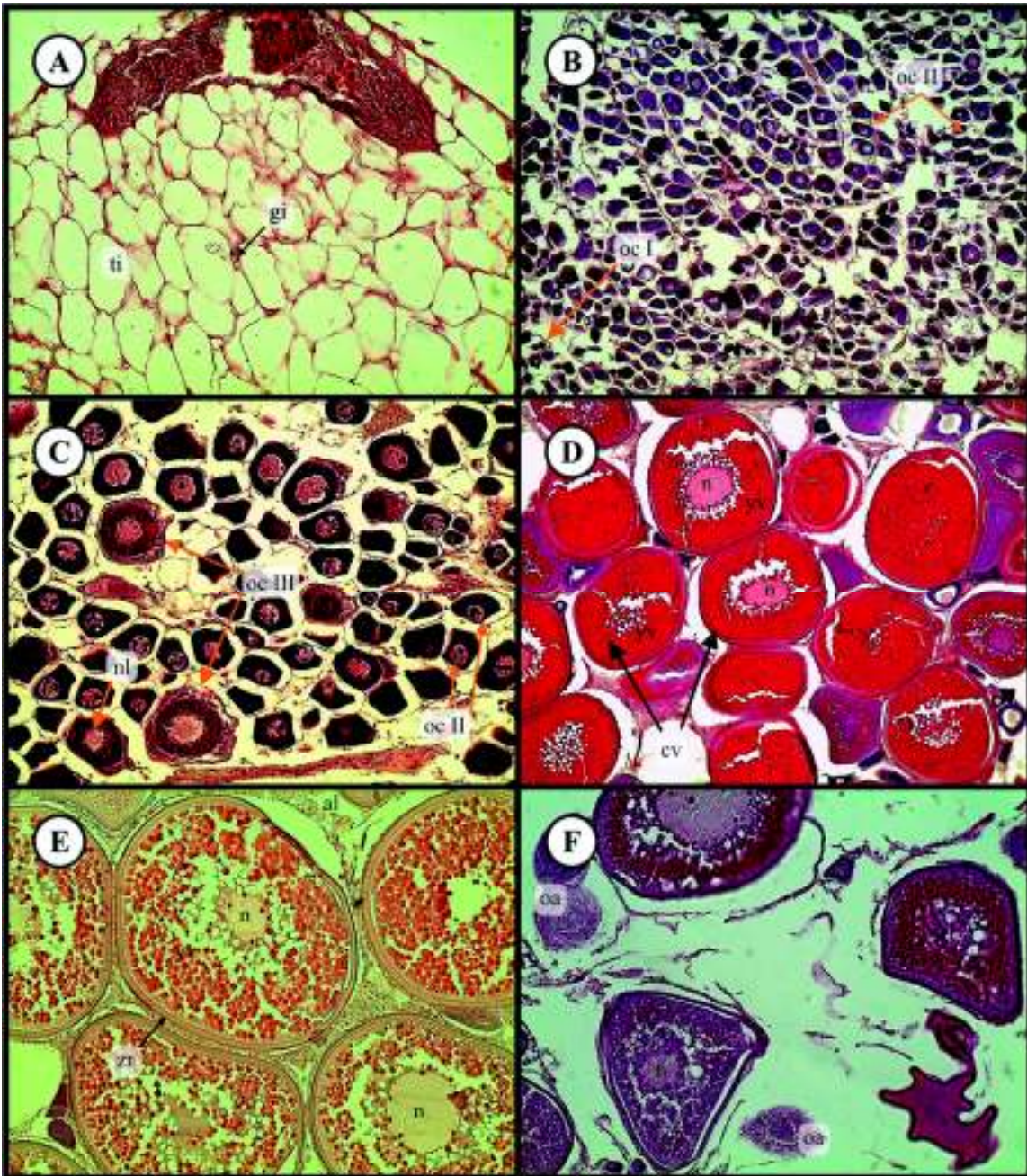
### V.5 Ciclo reproductivo de la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*

Se analizaron mediante técnicas histológicas un total de 360 organismos de cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, con el fin de determinar su estado reproductivo. La identificación se basó en el criterio establecido por Andrade *et al.*, (2003), la cual establece cinco estadios reproductivos para machos y hembras. En el caso de los machos (Figura 12) se identificaron los estadios de (I) Inmaduro/Descanso, (II) En Desarrollo, (III) Madurez Avanzada, (IV) Maduro y (V) Desovado, mientras que para las hembras (Fig. 13) se identificaron los estadios de (I) Inmaduro/Descanso, (II) Descanso Avanzado, (III) En Desarrollo, (IV) Desarrollado y (V) Desovado.



**Figura 12.** Estadios de desarrollo testicular de *P. maculatofasciatus*: (A) Inmaduro/Descanso 20X, (B) En desarrollo 10X, (C) Madurez Avanzada 20X, (D) Maduro 20X y (E) Desovado 20X. Tinción Hematoxilina-Eosina. er = esperma residual, sg = espermatogonias, st = espermátidas, sz = espermias, dv = ductos vacíos, ls = espacio lobular.

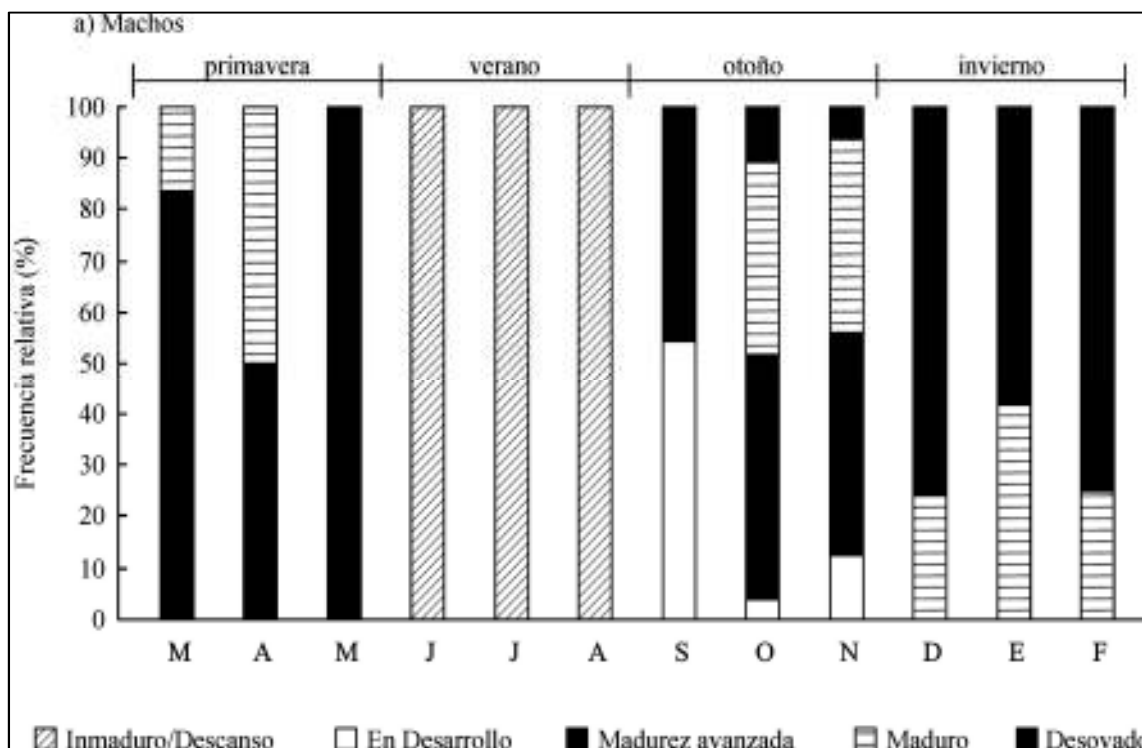




**Figura 13.** Estadios de desarrollo ovárico de *P. maculatofasciatus*: (A) Inmaduro/Descanso 20X, (B) Descanso Avanzado 10X, (C) En Desarrollo 20X, (D, E) Desarrollado 10X-20X y (F) Desovado 20X. Tinción Hematoxilina-Eosina. ti = tejido indiferenciado, gi = gametogénesis inicial, ocI = ovocitos I, ocII = ovocitos II, ocIII = ovocitos III, nl = nucléolo, n = núcleo, yv = vesícula vitelina, al = estrato folicular, zr = zona radiata, oa = ovocitos atrésicos.

### V.5.1 Machos

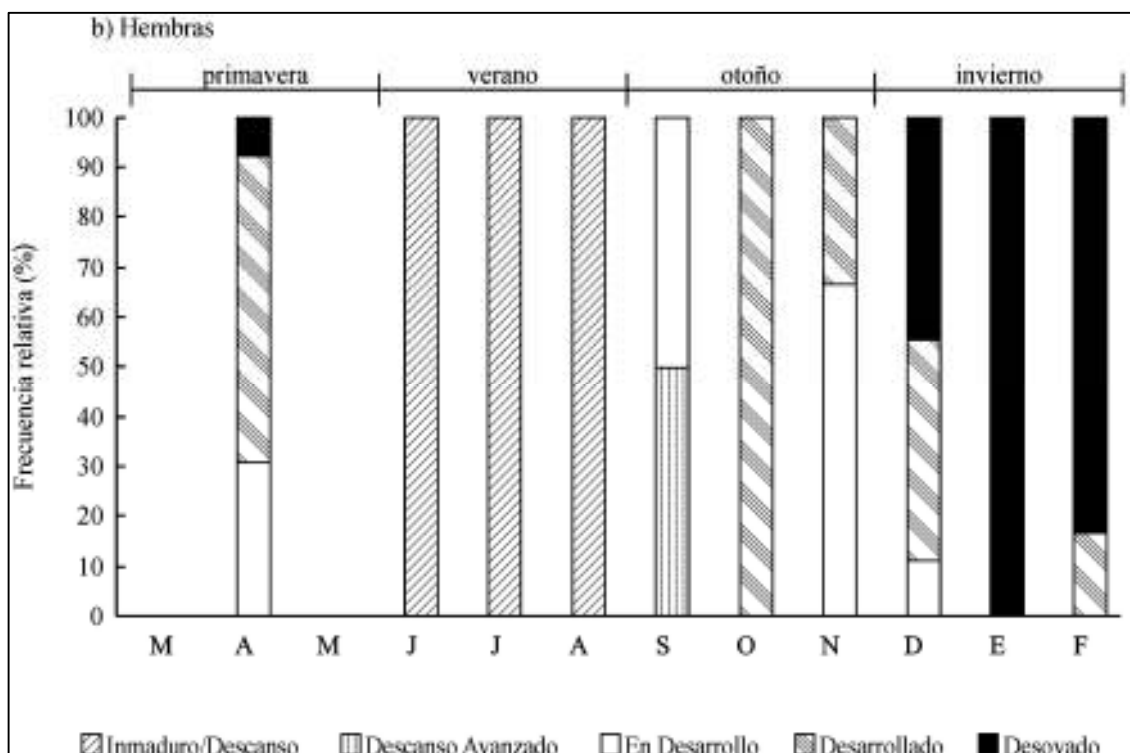
La distribución de los estadios reproductivos en los machos (Figura 14) evidenció que en abril la mitad de los machos analizados mostraron los ductos espermáticos llenos de esperma, correspondiente al estadio Maduro (IV), mientras que en el mes de mayo la totalidad de los peces mostraron los ductos espermáticos vacíos, indicando el estadio de Desovado (V). De junio a agosto la totalidad de los organismos analizados mostraron criptas con espermatogonias y en algunas ocasiones esperma residual, indicando un estadio de Inmadurez/Descanso (I), mientras que de octubre a noviembre la mayoría de los organismos se encontraron en los estadios de madurez avanzada (III) (44 - 48 %), caracterizados por la presencia de espermatocitos y espermatidas, y en maduro (IV) (37 - 37.5 %). Así mismo, se observó la presencia de organismos desovados en octubre (11 %), los cuales aumentaron su proporción en diciembre (76 %) y se mantuvieron en enero (58 %) y febrero (75 %).



**Figura 14.** Frecuencia relativa (%) de los estadios reproductivos de los machos de cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, muestreados de marzo de 2017 a febrero de 2018.

### V.5.2 Hembras

En el caso de la distribución de los estadios reproductivos de las hembras (Figura 15), se observó en el mes de abril la presencia de ovocitos distribuidos de forma desorganizada y ovocitos de gran tamaño (hidratados) con numerosas vesículas vitelinas, correspondientes al estadio de en desarrollo (III) (30 %) y desarrollado (IV) (60.6 %), respectivamente. De junio a agosto, la totalidad de las hembras mostraron pequeños ovocitos de forma organizada, correspondiente al estadio de inmadurez/descanso (I), mientras que en septiembre se observaron los estadios de descanso avanzado (50 %) (caracterizados por presentar una configuración menos organizada que el estadio inmaduro/descanso) y desarrollado (IV) (50 %). Adicionalmente, en octubre la totalidad de las hembras capturadas se encontraron en el estadio de desarrollado (IV), y en diciembre se observó la presencia de organismos desovados (V) (44 %), los cuales se incrementaron de enero a febrero (83 - 100 %), Sin embargo, se destaca de importancia la ausencia de hembras en los meses de marzo y mayo.

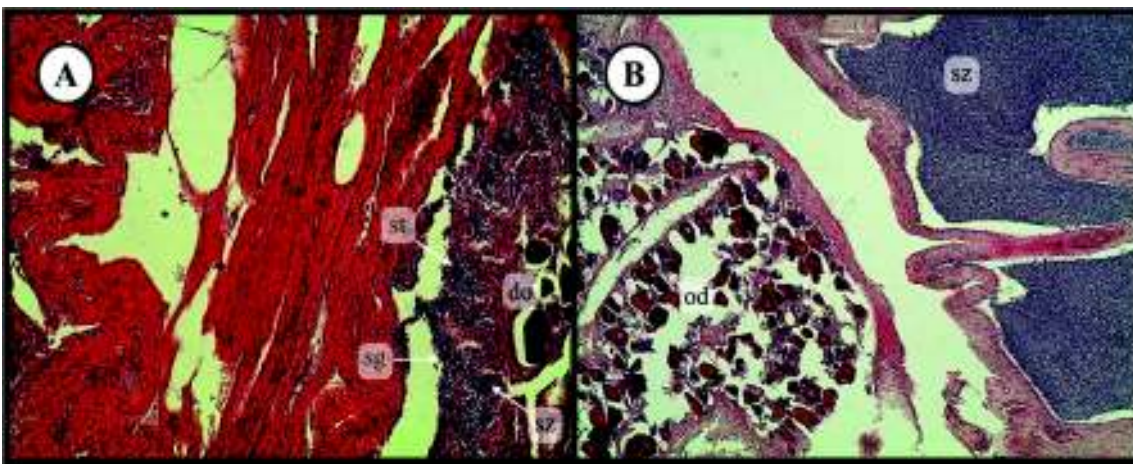


**Figura 15.** Frecuencia relativa (%) de los estadios reproductivos de las hembras de cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, muestreados de marzo de 2017 a febrero de 2018.



## V.6 Organismos en transición

En el presente estudio se observó la presencia de cinco organismos en transición de hembra a macho (hermafroditismo protógino) en los meses de abril (3), mayo (1) y junio (1), caracterizados por la presencia de tejido ovárico en degeneración y tejido testicular en proliferación (Figura 16).



**Figura 16.** Organismos de cabrilla arenera, *Paralabrax maculatofasciatus* en transición sexual (A, B) 20X: do = ovocitos en degeneración, sg = espermatogonias, st = espermátidas, sz = esperma.

## V.7 Proporción de sexos

La proporción de sexos de la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus* mostró una variación significativa a través del año (Tabla 2). De acuerdo a los datos encontrados en el presente estudio, los machos dominaron la proporción de la muestra analizada de septiembre a enero, mostrando proporciones macho-hembra de 2.3:1.0 a 27:1.0, contrariamente las hembras dominaron la proporción de la muestra analizada en los meses de agosto y febrero, mostrando una proporción macho-hembra de 0.3:1.0 en ambos meses, mientras que en los meses de abril (1.1:1.0), junio (0.8:1.0) y julio (0.9:1.0) no se observaron diferencias significativas en cuanto a la proporción. Cabe señalar que en los meses de marzo y mayo no se observó la presencia de organismos hembra.

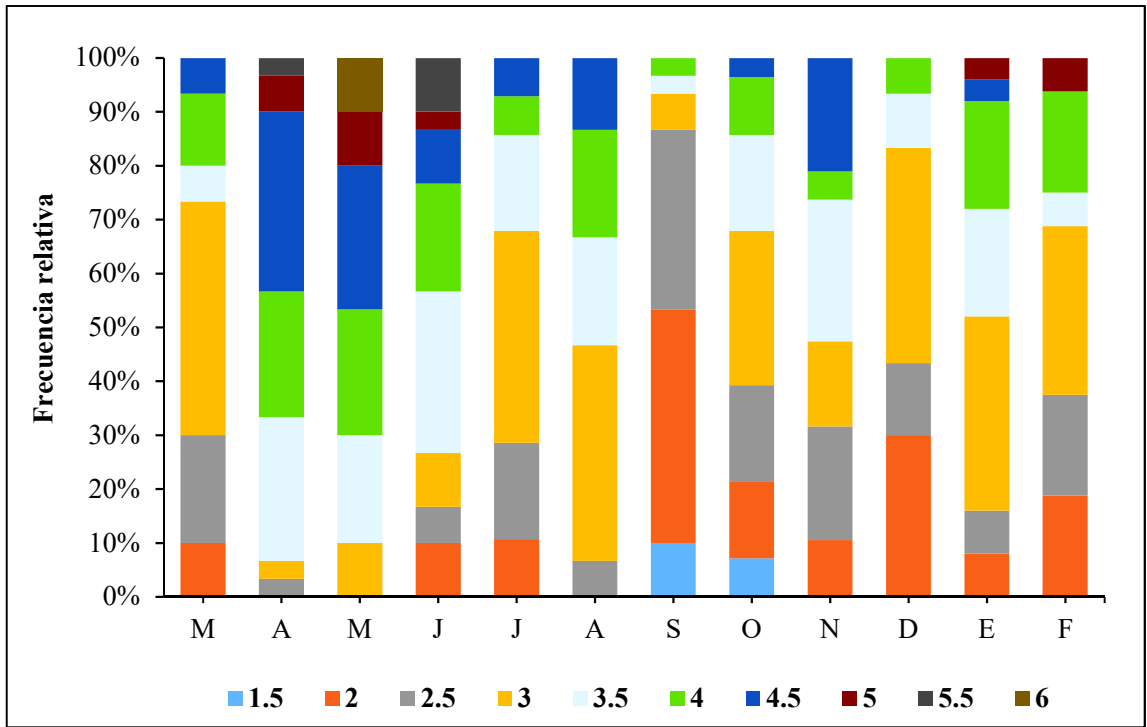
**Tabla 2.** Proporción de sexos y valores de  $\chi^2$  con el factor de corrección de Yates para la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus* de marzo del 2017 a febrero del 2018. \*Representa diferencia significativa con respecto a la proporción esperada de 1:1 ( $P < 0.05$ ).

Mes	Machos	Hembras	Total	$\chi^2$	Proporción (M:H)
Marzo	30	0	30	-	-
Abril	16	14	30	0.86	1.1:1
Mayo	30	0	30	-	-
Junio	14	16	30	2.82	0.8:1
Julio	12	13	25	2.0	0.9:1
Agosto	7	23	30	18.60	0.3:1*
Septiembre	25	5	30	6.0	5.0:1*
Octubre	27	1	28	14.0	27:1*
Noviembre	25	5	30	6.0	5.0:1*
Diciembre	25	5	30	6.0	5.0:1*
Enero	24	2	26	10.37	12:1*
Febrero	7	23	30	18.66	0.3:1*
<b>Total</b>	<b>242</b>	<b>107</b>	<b>349</b>	<b>85.30</b>	<b>2.1:1</b>

## V.8 Análisis de otolitos

Se analizaron un total 350 otolitos de cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, con los que se determinó la edad de los peces mediante la lectura de los anillos de crecimiento (Figura 17). Los resultados indicaron que la edad de los peces capturados se encontró en un intervalo de 1.5 a 6.0 años. Adicionalmente, se observó que los organismos de 3 años presentaron una mayor frecuencia en los meses de marzo (43.33 %), julio (39.29 %), agosto (40 %), octubre (28.57 %), diciembre (40 %), enero (36 %) y febrero (31.25 %), mientras que los peces de 4.5 años presentaron una mayor frecuencia en abril (33.33 %) y mayo (26.67 %). Cabe señalar que los organismos de 1.5 años se observaron solamente en los meses de septiembre (10 %) y octubre (7.14 %), así mismo los peces de 2 años presentaron su mayor frecuencia en septiembre (43.33 %), mientras que los organismos más longevos (6 años) se observaron solamente en el mes de mayo, representando el 10 % de la muestra.





**Figura 17.** Frecuencia relativa mensual de las edades de los organismos de cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, capturados de marzo 2017 a febrero 2018.

## VI. DISCUSIÓN

De acuerdo a la literatura, el IGS es considerado como un indicador de la madurez sexual en los peces, ya que el peso de las gónadas tiende a incrementarse conforme el proceso de gametogénesis avanza (González y De La Rosa *et al.*, 2001; Grau *et al.*, 2009). En este sentido los resultados obtenidos para el IGS mostraron su valor máximo en el mes de abril (5.38 %) (Figura 11a), el cual coincide con la fase de madurez observada en el presente estudio para la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*. En la literatura se han reportado resultados similares a los obtenidos en el presente estudio para especies relacionadas, como es el caso de la cabrilla leopardo, *Mycteroperca rosacea*, en la cual se encuentra reportado un valor máximo de IGS (0.70 %) durante el periodo de desove (Estrada-Godínez *et al.*, 2011), mientras que para el pargo lunarejo, *Lutjanus guttatus*, se han reportado valores promedio de IGS de 0.50 a 5.0 %, y de manera similar, los valores más altos coincidieron con la presencia de organismos en madurez (González y De La Rosa *et al.*, 2001). Adicionalmente, se ha reportado que los valores de IGS varían de acuerdo a la especie y el grado de madurez de las gónadas, por ejemplo, en el caso de organismos silvestres del pez ángel rey, *Holocanthus passer* se han reportado valores de IGS que van desde 0.09 a 0.15 % en machos y de 0.87 a 3.43% en hembras (Urquidez-Bejarano *et al.*, 2016) durante las fases de madurez y desove. Mientras que, para hembras y machos de perca regia, *Argyrosomus regius*, se han reportado valores promedio anuales de IGS que van desde 0.20 a 5.0 % y de 0.05 a 0.70%, respectivamente, (Shabana *et al.*, 2012).

Los resultados obtenidos para el IHS en el presente estudio variaron desde 1.06 a 2.24% (Figura 11b). En este contexto, es importante considerar que los valores altos de IHS están, por lo general, asociados con el almacenamiento de energía en el hígado, la cual se consume durante el proceso de vitelogénesis (Indira *et al.*, 2013; Pollino y Holdway, 2003; Sudarshan y Kulkarni, 2013; Zin *et al.*, 2011). Por esta razón, resulta común encontrar una correlación negativa entre los valores de IHS e IGS, como se ha reportado para la cabrilla sardinera, *M. rosacea*, (Estrada-Godínez *et al.*, 2011), la sardina del Atlántico, *Sardina pilchardus* (Nunes *et al.*, 2011) y el jurel, *Caranx caballus*, (Gallardo-Cabello *et al.*, 2007). Sin embargo, está reportado que esta correlación no siempre se cumple, como en el presente estudio y en algunas otras especies de peces, como en el pargo lunarejo, *L. guttatus*, (Arellano-Martínez *et al.*, 2001), la lisa salmonete, *Mugil curema* (Ruiz-Ramírez *et al.*, 2017), el robalo, *Centropomus nigrescens*, (Gallardo-

Cabello *et al.*, 2018) y para el lenguado, *Cyngoglossus arel* (Ghaffari *et al.*, 2011). Adicionalmente, se ha reportado que esta variación puede atribuirse a que los peces sufren modificaciones importantes durante su crecimiento y madurez sexual, siendo específicos para cada especie (Bromage *et al.*, 1992).

El factor de condición de Fulton (K) es considerado como un parámetro indirecto utilizado comúnmente para evaluar la eficiencia nutricional de los peces. De acuerdo a la literatura, se ha establecido que valores cercanos a 1.0 se consideran dentro del intervalo normal de la mayoría de los peces marinos. En este sentido, los valores más altos indican peces nutridos eficientemente (más robustos) y los valores más bajos indican peces nutridos deficientemente (menos robustos), aunque los valores tienden a variar entre las especies (González-Félix *et al.*, 2016; González-Félix *et al.*, 2015; Pérez-Velázquez *et al.*, 2017; Ricker, 1987). En el presente estudio, los valores de K fueron de 1.46 a 1.56 (Figura 11c), desafortunadamente, no existe mucha información disponible acerca de la relación de los índices somáticos con los eventos reproductivos en especies similares, aunque los valores obtenidos en el presente estudio se encuentran dentro del rango reportado para otras especies de peces marinos como la cabrilla sardinera (1.0 a 1.45) (Estrada-Godínez *et al.*, 2011); el pargo, *Lutjanus inermis*, (1.17 a 1.23) (Lucano-Ramírez *et al.*, 2012), la lisa salmonete (1.25 a 1.45) (Ruiz-Ramírez *et al.*, 2017) y para la corvina de aleta corta, *Cynnoscion parvipinnis*, (0.96) (González-Félix *et al.*, 2017). A pesar de que en el presente estudio no se encontraron diferencias significativas en cuanto al factor de condición, se logró observar que los organismos muestreados en marzo, abril y noviembre, meses con importante actividad de gametogénesis, mostraron valores de K ligeramente superiores a los peces capturados de junio a agosto, meses en que los organismos se encontraban en la fase de inmaduro/descanso (I). Lo anterior puede explicarse por el hecho de que K es una relación entre el peso y la longitud, y los valores tienden a disminuir a medida que el peso corporal disminuye o la longitud aumenta (Urquidez-Bejarano *et al.*, 2016). Por lo tanto, en el presente estudio valores menores de K correspondieron a organismos en periodo de reposo (I) cuyas gónadas presentaron un menor tamaño en comparación con su peso corporal y contrariamente, los organismos en etapas de madurez gonádica avanzada (IV), mostraron valores de K ligeramente mayores.

Los resultados histológicos obtenidos en el presente estudio representan, a nuestro conocimiento, la primera evaluación de los aspectos reproductivos y las características bioquímicas de las gónadas de la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, en la región central del Golfo de California. La distribución de los estadios reproductivos (Figura 14 y Figura 15) mostró un alto porcentaje de machos maduros (50 %) y hembras desarrolladas (61.5 %) en abril. Adicionalmente, se notó la presencia de machos maduros desde octubre (37 %) hasta noviembre (37.5 %), y aunque la presencia de machos maduros continuó hasta diciembre, la proporción fue dominada por organismos desovados (58 a 76 %). En el caso de las hembras, se observó la presencia de organismos desarrollados de octubre a diciembre (33 a 100 %), mientras que en los meses de diciembre (44 %), enero (100 %) y febrero (83 %) se evidenció la presencia de hembras desovadas. El periodo de descanso tanto de machos como de hembras de la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*, abarcó de junio a agosto en la totalidad de los organismos analizados. Los resultados obtenidos en el presente estudio sugieren que la cabrilla arenera podría exhibir dos picos reproductivos a través del año en la región de Bahía de Kino, el primero de ellos a mediados de la primavera y el segundo a mediados del otoño. Resultados similares se han reportado en estudios previos llevados a cabo en poblaciones del sur de California (E.U.A), Baja California Sur y el Golfo de California para la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus*. En estos estudios, al igual que en el presente trabajo, la especie mostró dos picos reproductivos, el primero de abril a mayo, y el segundo en octubre (Hovey y Allen, 2000), mientras que para la cabrilla sargacera, *P. clathratus*, el desove ocurre desde finales de la primavera hasta principios del otoño (Turner *et al.*, 1969). Sin embargo, Avilés-Quevedo (2005) determinó que la temporada reproductiva para *P. maculatofasciatus* en la Bahía de La Paz, Baja California Sur, se extiende de enero a julio, intensificándose de febrero a mayo una vez que la temperatura del agua y el fotoperiodo alcanzan de 20 a 23 °C y de 12:12 - 14:12 h, respectivamente. De manera similar, Lluch-Cota (1995) reportó que la temporada reproductiva de *P. maculatofasciatus* en Bahía Magdalena, Baja California Sur, abarca desde finales del invierno hasta mediados del otoño, aunque el desove se intensifica de abril a agosto una vez que la temperatura del agua y el fotoperiodo alcanzan de 17 a 24 °C y de 12:15 - 15:15 h, respectivamente. Adicionalmente, es ampliamente conocido que la temperatura del agua y el fotoperiodo son de los factores ambientales de mayor importancia en la reproducción de peces (Bromage *et al.*, 1992; Clark *et al.*, 2005; Zohar y Mylonas, 2001). En este contexto, los resultados obtenidos en el presente

estudio evidenciaron que los picos reproductivos para *P. maculatofasciatus* coincidieron cuando la temperatura del agua y el fotoperiodo alcanzaron de 20 a 23 °C y de 13:11 - 14:10 h (mayo-abril) y 22°C a 27°C y 11:13 - 10:14 h (octubre-noviembre) (Figura 6), lo cual resulta similar a lo reportado en estudios previos para la especie. Aunque resulta importante el hecho de que se observaron variaciones importantes en la duración del período reproductivo con respecto a lo reportado por Avilés-Quevedo (2005) y Lluch-Cota (1995), estas variaciones fueron atribuidas a las diferencias entre los lugares de estudio, ya que la Bahía de La Paz y la Bahía Magdalena se encuentran localizadas en la parte sur del Golfo de California, donde la temperatura del agua tiende a ser más cálida y estable en comparación con la región central del Golfo de California (Soto-Mardones *et al.*, 1999). Sin embargo, estos estudios coinciden en que el proceso de reproducción de *P. maculatofasciatus* se intensifica cuando la temperatura del agua y el fotoperiodo alcanzan aproximadamente de 20 a 27°C y de 10:14 - 14:10 h, respectivamente.

Por otro lado, en el presente estudio se observó la presencia de organismos en transición de hembra a macho, es decir, hermafroditismo del tipo protógino (Figura 16), y aunque el hermafroditismo en el género *Paralabrax* está bien documentado (Avilés-Quevedo, 2005; Hastings, 1989; Hovey *et al.*, 2002; Hovey y Allen, 2000; Oda *et al.*, 1993), estos resultados indican, a nuestro criterio, el primer informe de la presencia de hermafroditismo protógino para *P. maculatofasciatus* en la región central del Golfo de California. Desafortunadamente, la información concerniente a la ecología de las comunidades de peces hermafroditas es escasa, sin embargo, se encuentra bien documentado que una de las consecuencias de la sobreexplotación pesquera de peces hermafroditas es el desequilibrio en la proporción de sexos (Coleman *et al.*, 1996; Carter *et al.*, 1994). Además, es importante tener en cuenta el hecho de que el hermafroditismo puede utilizarse como una ventaja reproductiva cuando los machos o las hembras de la población son escasos (De Mitcheson y Liu, 2008; Ghiselin, 1969; Warner, 1975).

Los análisis proximales demostraron una variación significativa a lo largo del año en términos de lípido y humedad en el tejido gónada de *P. maculatofasciatus* (Tabla 1). Los resultados obtenidos en el presente estudio evidenciaron que durante el primer pico reproductivo (abril), el contenido de lípido fue significativamente mayor en comparación con los organismos analizados en junio, julio y agosto (descanso), contrariamente, los valores de humedad mostraron los valores más altos en organismos en descanso, lo que coincide con los valores más

bajos de lípido en el tejido de gónada. Aunque actualmente no existe mucha información disponible sobre las características químicas de la gónada de la cabrilla arenera, los resultados obtenidos en el presente estudio pueden ser comparables a los reportados para el pez ángel rey, *H. passer*, donde el contenido de lípidos en las gónadas fue numéricamente más alto en organismos sexualmente maduros (Urquidez-Bejarano *et al.*, 2016), mientras que para la corvina de aleta corta, *C. parvipinnis*, se ha reportado que el contenido de lípido en las gónadas puede ir desde 2.05 a 11.05%, en la etapa de maduración temprana (González-Félix *et al.*, 2017). Adicionalmente, se encuentra documentado que las fases reproductivas pueden afectar el almacenamiento de lípido en el tejido de varias especies de peces marinos pertenecientes a las familias Serranidae, Siganidae y Scombridae, lo cual se atribuye al hecho de que durante el proceso de maduración se requiere una alta movilización de lípido en las gónadas con el fin de llevar a cabo para realizar el proceso de vitelogénesis (Rao y Krishnan, 2011; Sprague *et al.*, 2012; Suloma y Ogata, 2011).

La proporción de sexos mostró una relación de sexos desequilibrada a lo largo del año, en donde los machos dominaron la proporción significativamente de septiembre a enero, mientras que las hembras dominaron en agosto y febrero (Tabla 2). De acuerdo a la literatura, las especies que forman agregaciones reproductivas son más susceptibles a la sobrepesca, dado que resulta más fácil capturar una gran cantidad de organismos mientras se encuentran reunidos para llevar a cabo el ritual reproductivo (Olsen y LaPlace, 1979). Por ejemplo, se ha reportado que el mero, *M. microlepis* y el abadejo, *M. phenax*, especies consideradas como hermafroditas protóginas y formadoras de agregaciones reproductivas, sufrieron una disminución en cuanto a la proporción de machos de 17 a 1 % y de 36 a 18 %, respectivamente, en un período de 25 años (Coleman *et al.*, 1996). De acuerdo con esto, la proporción desequilibrada de sexos, así como la presencia de hermafroditismo, podrían ser consecuencia de la sobreexplotación pesquera de la especie, ya que como se mencionó anteriormente, *P. maculatofasciatus*, se explota durante todo el año sin regulación en el Golfo de California. Sin embargo, es importante tener en cuenta que un claro dominio en proporción de sexos también puede deberse a la presencia de hermafroditismo (Provost, 2013), tal como se observó en la presente investigación. Por ejemplo, Estrada-Godínez (2011) reportó un claro dominio de hembras en la cabrilla sardinera, *M. rosacea*, adicionalmente reportaron la presencia de un organismo en reversión sexual de hembra

a macho (hermafrodita protógino). Esto confirma la complejidad de los patrones de reproducción de peces marinos, especialmente de las especies que conforman a la familia Serranidae (Estrada-Godínez *et al.*, 2011).

Por otra parte, la información obtenida sobre la biología reproductiva de *P. maculatofasciatus* a través del año de estudio, podría ser de gran ayuda para fomentar la implementación de programas de protección para la especie, las cuales actualmente no existen, con el fin de fomentar una pesquería sustentable en la región de Bahía de Kino. Sin embargo, cómo la sobrepesca está afectando el patrón reproductivo y la salud de las poblaciones silvestres de *P. maculatofasciatus* en el Golfo de California, son aspectos que deben ser elucidados en futuros estudios.

## VII. CONCLUSIONES

- I. En el presente trabajo se encontró que la actividad reproductiva de la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus* se encuentra determinada por la variación del fotoperiodo y la temperatura como consecuencia del cambio de estación. En este sentido, los picos reproductivos de la especie en la región de Bahía de Kino suceden a mediados de la primavera y del otoño, mientras que la estación de verano es utilizada para el descanso. Adicionalmente, se encontró que los organismos presentan el gonocorismo como estrategia reproductiva, sin embargo la presencia de organismos en transición (de hembra a macho) indica que la especie es capaz de adoptar el hermafroditismo protogino como estrategia reproductiva en la región de Bahía de Kino.
- II. Los valores de los índices somáticos evaluados en el presente estudio fueron afectados significativamente por el estadio reproductivo de los organismos, a excepción del factor de condición, el cual permaneció estable a través del año.
- III. La composición proximal de gónadas mostró una variación significativa a través del año en términos de lípido total, humedad y cenizas. Estas variaciones estuvieron influenciadas por el estadio reproductivo de los organismos, ya que durante el primer pico reproductivo los organismos almacenaron un mayor porcentaje de lípido en la gónada, lo cual coincidió con los valores mínimos de humedad.
- IV. El análisis de proporción de sexos mostró un desequilibrio en cuanto a la proporción teórica esperada de 1.0:1.0 (macho-hembra), donde los machos dominaron la población analizada de Bahía de Kino durante un periodo más largo de tiempo.
- V. El análisis de los otolitos determinó que los organismos de tres años fueron los que presentaron una mayor frecuencia durante el muestreo. Sin embargo, la edad de captura de la especie puede oscilar entre los 1.5 hasta los 6 años.



## VIII. RECOMENDACIONES

- I. A continuación se enlistan algunas recomendaciones con el fin de generar la información necesaria para entender por completo la biología reproductiva de la cabrilla arenera, *P. maculatofasciatus* en la región de Bahía de Kino.
- II. Se recomienda determinar los factores ambientales y antropomórficos que puedan estar influenciando a la especie a exhibir el hermafroditismo protogino como estrategia reproductiva en la región.
- III. Se recomienda evaluar en el corto plazo cómo la sobrepesca está dañando la salud de las poblaciones naturales de la cabrilla arenera en la región.
- IV. Se debe de continuar con el análisis de la biología reproductiva de la especie, ya sea ampliando la zona de muestreo o bien considerando otros factores ambientales como el pH, salinidad, oxígeno disuelto y mareas.

## IX. LITERATURA CITADA

- Aburto-Oropeza, O., B. Erisman, V. Valdez-Ornelas, G. Danemann, E. Torreblanca-Ramírez, J. Silva-Ramírez y G. Ortuño-Manzanarez. 2008. Serránidos de Importancia Comercial del Golfo de California: ecología, pesquerías y conservación. *Ciencia y Conservación* 2009 (1):1-23.
- Allen, L.G., T.E. Hovey, M.S. Love y J.T. Smith. 1995. The life history of the spotted sand bass (*Paralabrax maculatofasciatus*) within the Southern California bight. *CalCOFI Reports* (36):193-203.
- Anderson, O.F. y M.R. Clark. 2003. Analysis of bycatch in the fishery for orange roughy, *Hoplostethus atlanticus*, on the South Tasman Rise. *Mar. Freshwater Res.* (54):643-652. doi: 10.1071/MF02163.
- Andrade, Á.B., L.F. Machado, M. Hostim-Silva y J.P. Barreiros. 2003. Reproductive biology of the dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834). *Braz. arch. biol. technol.* 46(3), 373-382. doi: 10.1590/S1516-89132003000300009.
- AOAC Official methods of analysis. Association of Analytical Chemists. 2005. Arlington, VA, USA.
- Arellano-Martínez, M., A. Rojas-Herrera, F. García-Domínguez, B. Ceballos-Vázquez y M. Villalejo-Fuerte. 2001. Reproductive cycle of the spotted rose snapper *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869) in the Guerrero coast, Mexico. *Rev. Biol. Mar. Oceanog.* 36 (1):1-8.
- Avilés-Quevedo, M.A. 2005. Calidad de huevos y larvas según el manejo de los reproductores de la Cabrilla (*Paralabrax maculatofasciatus*, Pisces: Serranidae). Tesis de Doctorado. Universidad de Barcelona, Barcelona, España.
- Avilés-Quevedo, M.A., U. McGregor-Pardo, R. Rodríguez-Ramos, O. Hiraes-Cosío, M.A. Huerta-Bello y M. Izawa. 1995. Biología y cultivo de la cabrilla arenera *Paralabrax maculatofasciatus* (Steindachner, 1868). Subsecretaría de Pesca/INP/JICA (eds.) 85 pp.
- Baldwin, C.C. y G. D., Johnson. 1993. Phylogeny of the Epinephelinae (Teleostei: Serranidae). *Bulletin of Marine Science* 52 (1): 240-283.
- Bromage, N.R., J. Jones, C. Randall, M. Thrush, B. Davies, J. Springate, J. Duston y G. Barker. 1992. Broodstock management, fecundity, egg quality and the timing of egg production in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture.* 100 (1-3): 141-166. doi: 10.1016/0044-8486(92)90355-O.
- Bromage, N.R., M. Porter y C. Randall. 2001. The environmental regulation of maturation in farmed finfish with special reference to the role of photoperiod and melatonin. *Aquaculture.* 197:63–98. ISBN: 9780444509130. doi: 10.1016/B978-0-444-50913-0.50008-4.
- Carrillo, M., N. Bromage, S. Zanuy, R. Serrano y F. Prat. 1989. The effect of modifications in photoperiod on spawning time, ovarian development and egg quality in the Sea Bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Aquaculture* 81 (3-4): 351-365. doi: 10.1016/0044-8486(89)90159-2.
- Carta Nacional Pesquera 2010. Documento Oficial de la Federación.

- Carter, J., G.J. Marrow y V. Pryor. 1994. Aspects of the ecology and reproduction of Nassau grouper (*Epinephelus striatus*) off the coast of Belize, Central America. In: Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute. 43:65-111.
- Clark, R.W., A. Henderson-Arzapalo y C. V.-Sullivan. 2005. Disparate effects of constant and annually-cycling daylength and water temperature on reproductive maturation of striped bass (*Morone saxatilis*). *Aquaculture* 249 (1-4):497-513. doi: 10.1016/j.aquaculture.2005.04.001.
- Coleman, F.C., C.C. Koenig y L.A. Collins. 1996. Reproductive styles of shallow-water groupers (Pisces: Serranidae) in the eastern Gulf of Mexico and the consequences of fishing spawning aggregations. *Environ. Biol. Fish.* 47, 129-141. doi: 10.1007/BF00005035
- CONAPESCA-SAGARPA, 2012.
- Craig, M.T., D.J. Pondella II y R.N. Lea. 2006. New records of the flag cabrilla, *Epinephelus labriformis* (Serranidae: Epinephelinae), from the Pacific Coast of Baja California, Mexico, and San Diego, California, USA, with notes on the distribution of other groupers in California. *California Fish and Game*, 92, in press.
- Craig, M.T., D.J. Pondella, J.P. C.-Frank y J. C.-Hafner. 2001. On the status of the serranids fish genus *Epinephelus*: evidence for paraphyly based upon 16S rDNA sequence. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 19 (1):121-130. doi: 10.1006/mpev.2000.0913.
- Davies, B. y N. Bromage. 2002. The effects of fluctuating seasonal and constant water temperatures on the photoperiodic advancement of reproduction in female rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 205 (1-2):183-200. doi: 10.1016/S0044-8486(01)00665-2.
- De Mitcheson, Y.S. y M. Liu. 2008. Functional hermaphroditism in teleosts. *Fish Fish* 9, 1-43.
- Dries, L.A. 2003. Peering through the looking glass at a sexual parasite: ¿are Amazon mollies red queens? *Evolution*. 57(6): 1387–1396. doi: 10.1111/j.0014-3820.2003.tb00346.
- Estrada-Godínez, J., M. Maldonado-García, V. Gracia-López y M. Carrillo. 2011. Reproductive cycle of the leopard grouper *Mycteroperca rosacea* in La Paz Bay, Mexico. *Cienc. Mar.* 37(4):425-441. doi: 10.7773/cm.v37i4A.1954.
- FAO. 1992. The state of food and agriculture 1992. (FAO Agriculture Series, no. 25). Rome (Italy). ISBN 92-5-103226-2.
- Folch, J., M. Lees y G.H. Sloane-Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226(1):497-509.
- Gallardo-Cabello, M., E. Espino-Barr, A. García-Boa y M. Puente-Gómez. 2018. Fishery Analysis of *Centropomus nigrescens* Central Mexican Pacific. *IOSR-JAVS*. 11(6):60-67. doi: 10.9790 / 2380-1106026067.
- Gallardo-Cabello, M., E. Espino-Barr, A. García-Boa, E.G. Cabral-Solis y M. Puente-Gómez. 2007. Study of the growth of the green jack *Caranx caballus* Günther 1868, in the coast of Colima, México. *J. Fish. Aquat. Sci.* (2):131-139. doi: 10.3923/jfas.2007.131.139.
- Garrat, A. P. 1986. Protogynous hermaphroditism in the slinger, *Chrysoblephus puniceus* (Gilchrist y Thompson, 1908) (Teleostei:Sparidae). *J. Fish. Biol.* 28(3):297-306. doi: 10.1111/j.1095-8649.1986.tb05167.

- Ghaffari, H., A.A. Ardalan, H.H. Sahafi, M.M. Babaei y R. Abdollahi. 2011. Annual changes in gonadosomatic index (GSI), hepatosomatic index (HIS) and condition factor (K) of largescale tonguesole *Cynoglossus arel* (Bloch & Schneider, 1801) in the coastal waters of Bandar Abbas, Persian Gulf. *Aus. J. Basic. and Appl. Sci.* 5(9):1640-1646. ISSN 1991-8187.
- Ghiselin, M.T., 1969. The evolution of hermaphroditism among animals. *Q. Rev. Biol.* 44(2):189-208. doi: 10.1086/406066.
- González-Félix, M.L., C. Minjarez-Osorio, M. Pérez-Velázquez y P. Urquidez-Bejarano. 2015. Influence of dietary lipid on growth performance and body composition of the Gulf corvina, *Cynoscion othonopterus*. *Aquaculture* 448, 401-409. doi: 10.1016/j.aquaculture.2015.06.031.
- González-Félix, M.L., C.A. Maldonado-Othón y M. Pérez-Velázquez. 2016. Effect of dietary lipid level and replacement of fish oil by soybean oil in compound feeds for the shortfin corvina (*Cynoscion parvipinnis*). *Aquaculture* 454, 217-228. doi: 10.1016/j.aquaculture.2015.12.021.
- González-Félix, M.L., P. Urquidez-Bejarano, M. Pérez-Velázquez, R. Castro-Longoria y C.G. Vázquez-Boucard. 2017. Biochemical composition and fatty acid profile of gonads from wild and cultured shortfin corvina (*Cynoscion parvipinnis*) during the early maturation stage. *Arch. Biol. Sci.* 69(3):491-501. doi: 10.2298/ABS160831124G.
- González y De La Rosa, M.E. y C. Ré-Regis. 2001. Aspectos de la reproducción de *Lutjanus campechanus* en Campeche, México. *Cienc. Pesq.* (15):141-146 INP. SAGARPA.
- Gosline, W.A. 1966. The limits of the fish family Serranidae, with notes on other lower percoids. *Proceedings of the California Academy of Sciences.* (33):91-111.
- Grau, A., M. Linde y A.M. Grau. 2009. Reproductive biology of the vulnerable species *Sciaena umbra* Linnaeus, 1758 (Pisces: Sciaenidae). *Sci. Mar.* 73, 67-81. doi: 10.3989/scimar.2009.73n1067.
- Hastings, A.P. 1989. Protogynous hermaphroditism in *Paralabrax maculatofasciatus* (Pisces:Serranidae). *Copeia* (1):184-188. doi: 10.2307/1445619.
- Hastings, P.A. y C.W. Petersen. 1986. A novel sexual pattern in serranid fishes: simultaneous hermaphroditism and secondary males in *Serranus fasciatus*. *Environ. Biol. Fish.* (15):59-68. doi: 10.1007/BF00005389.
- Heemstra, P.C. y J.E. Randall. 1993. Groupers of the world (Family Serranidae, Subfamily Epinephelinae). An annotated and illustrated catalogue of the grouper, rockcod, hind, coral grouper and lyretail species known to date. *FAO Fisheries Synopsis*. No. 125, Vol. 16. Rome, Italy. 382 pp.
- Heemstra, P.C. y J.E. Randall. 1995. Groupers of the world. *FAO Fisheries Synopsis* 125: 1-15.
- Hopson, J. y S.N. Wessells. 1990. Animal development. En: effects. *Marine Ecology Progress Series.* (75):191-203.
- Hovey, C.B., L.G. Allen y T.E. Hovey. 2002. The reproductive pattern of barred sand bass (*Paralabrax nebulifer*) from southern California. *CAL. COOP. OCEAN. FISH.* (43):174-181.

- Hovey, T.E. y L.G. Allen. 2000. Reproductive patterns of six populations of the spotted sand bass, *Paralabrax maculatofasciatus*, from southern and Baja California. *Copeia* 2000. (2):459-468. doi: 10.1643/0045-8511(2000)000[0459:RPOSPO]2.0.CO;2.
- Hovey, T.E. y L.G. Allen. 2001. Spotted sand bass. California Department of Fish and Game Report. 226-227.
- Indira, R., J.M.A. Prabhu-Arachi y D. Varadharajan. 2013. Studies on the reproductive biology of red jewel cichlid *Hemichromis bimaculatus* (Gill, 1862). *International Journal Environmental Biology*. (3):160-172.
- ITIS (Integrated Taxonomy Information System). Mayo del 2017. <https://www.itis.gov/>
- Jackson, J.B., M.X. Kirby, W.H. Berger, K.A. Bjorndal, L.W. Botsford, B.J. Bourque, R.H. Bradbury, R. Cooke, J. Erlandson y J.A. Estes. 2001. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Sci.* 293, 629-637. doi: 10.1126/science.1059199.
- Jennings, S. y M.J. Kaiser. 1998. The effects of fishing on marine ecosystems, advances in marine biology. Elsevier. (34):201-352. doi: 10.1016/S0065-2881(08)60212-6.
- Lauder, G.V. y K.F. Liem. 1983. The evolution and interrelationships of the actinopterygian fishes. *Bulletin of the Museum of the Comparative Zoology*. (150):95-197. doi: 10.5962/bhl.part.28698.
- Lubzens, E., G. Young, J. Bobe y J. Cerdá. 2010. Oogenesis in teleosts: how eggs are formed. *General and comparative endocrinology*. (165):367-389. doi: 10.1016/j.ygcen.2009.05.022.
- Lucano-Ramírez, G., S. Ruiz-Ramírez, G. González-Sansón y B.P. Ceballos-Vázquez. 2012. Biología reproductiva del pargo *Lutjanus inermis* (Perciformes: Lutjanidae), en el Pacífico central mexicano. *Rev. Biol. Trop.* (60):393-403.
- Lluch-Cota, D.B. 1995. Aspectos reproductivos de la cabrilla arenera *Paralabrax maculatofasciatus* (Pisces: Serranidae) en Bahía Magdalena-Almejas, Baja California Sur, México. Tesis Maestría en Ciencias, CICIMAR-IPN. 174 pp.
- Maitra, S.K., M. Seth y A. Chattoraj. 2006. Photoperiod, pineal photoreceptors and melatonin as the signal of photoperiod in the regulation of reproduction in fish. *J. Endocrinol. Reprod.* 10 (2):3-87. doi: 10.18311/jer/2006/2125.
- Mellinger, J. 2002. Sexualite et reproduction des poissons. CNRS Editions. Paris.
- Muñoz-Cueto, J.A. 2009. Cerebro y reproducción en peces: bases neurales y neuroendócrinas. In: M. Carrillo (ed.). *La reproducción en los peces: aspectos básicos y su aplicación en la acuicultura*. Fundación OESA, Madrid, pp. 25-75.
- Nagahama, Y. 1987. Endocrine control of oocyte maturation. *Hormones and reproduction in fishes, amphibians and reptiles*. Norris D. O. and Jones R. E. (eds). Plenum Press, N. Y; 171-203 pp.
- Nunes, C., A. Silva, E. Soares y K. Gantias. 2011. The use of hepatic and somatic indices and histological information to characterize the reproductive dynamics of Atlantic sardine *Sardina pilchardus* from the Portuguese coast. *Mar. Coast. Fish.* (3):127-144. doi: 10.1080/19425120.2011.556911.
- Oda, D.L., R.J. Lavenberg y J.M. Rounds. 1993. Reproductive biology of three California species of *Paralabrax* (Pisces: Serranidae). *CalCOFI Rep.* (34):122-132.

- Olsen, D.A. y J.A. LaPlace. 1979. A study of a Virgin Islands grouper fishery based on a breeding aggregation. In: Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute, 31, pp. 130-144.
- Paredes, G.A., B. Erisman, I. Mascareñas-Osorio, J. Cota-Nieto, K. Gherard y O. Aburto-Oropeza. 2010. La curvina golfina: biología, pesquería y su gente. CONABIO. Biodiversitas 91, 1-5.
- Pauly, D., V. Christensen, J. Dalsgaard, R. Froese y F. Torres. 1998. Fishing down marine food webs. *Sci.* (279):860-863. doi: 10.1126/science.279.5352.860.
- Pérez-Velázquez, M., C. Minjarez-Osorio y M.L. González-Félix. 2017. Effect of dietary lipid level on growth performance, feed utilization and body composition of totoaba, *Totoaba macdonaldi* (Gilbert, 1890). *Aquacult. Res.* (48):2607-2617. doi: 10.1111/are.13002.
- Petersen, C.W. y E.A. Fischer. 1986. Mating system of the hermaphroditic coral-reef fish, *Serranus baldwini*. *Behav. Ecol. Sociobiol.* (19):171-178. doi: 10.1007/BF00300857.
- Polovina, J.J. y S. Ralston. 1987. Tropical snappers and groupers biology and fisheries management. *Q. Rev. Biol.* (63):105-106. doi: 10.1086/415791.
- Pollino, C.A. y D.A. Holdway. 2003. Reproduction of a laboratory-based population of the Australian crimson-spotted rainbowfish (*Melanotaenia fluviatilis*). *Australas. J. Ecotoxicol.* (9):113-117.
- Provost, M.M., 2013. Understanding sex change in exploited fish populations: a review of east coast fish stocks and assessment of selectivity and sex change in black sea bass (*Centropristis striata*) in New Jersey. Tesis de Maestría. Rutgers University-Graduate School-New Brunswick. New Brunswick, New Jersey.
- Rao, A.C. y L. Krishnan. 2011. Biochemical composition and changes in biological indices associated with maturation of the ovary in the spiny cheek grouper *Epinephelus diacanthus* (Valenciennes, 1828). *Indian J. Fish.* (58):45-52.
- Ricker, W.E., 1987. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Dept. of Fisheries and Oceans.
- Ruiz-Ramírez, S., E.G. Molina-Arenas, G. Lucano-Ramírez, C. Aguilar-Betancourt, J.R. Flores-Ortega, D. Kosonoy-Aceves y G. González-Sansón. 2017. Aspectos reproductivos de la lisa *Mugil curema* (Mugiliformes: Mugilidae) en la laguna costera de Barra de Navidad, Jalisco, México. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* (45):443-456.
- Saborido-Rey. 2008. Ecología de la reproducción y potencial reproductivo en las poblaciones de peces marinos. Instituto de Investigaciones Marinas: 1-71.
- Sadovy, Y. y D.Y. Shapiro. 1987. Criteria for the diagnosis of hermaphroditism in fishes. *Copeia*, 136-156. doi: 10.2307/1446046.
- Sadovy, Y. y M. Liu. 2008. Functional hermaphroditism in teleosts. *J. Fish. Fisher.* (9):1-43. doi: 10.1111/j.1467-2979.2007.00266.x.
- Sadovy, Y. y M.L. Domeier. 2005. Perplexing problems of sexual patterns in the fish genus *Paralabrax* (Serranidae, Serraninae). *J. Zool. Soc. Lon.* (267):121-133. doi: 10.1017/S0952836905007466.
- Sadovy, Y., A. Rosario y A. Román. 1994. Reproduction in an aggregating grouper, the red hind, *Epinephelus guttatus*. *Environ Biol Fish.* (41):269. doi: 10.1007/BF02197849.

- Shabana, N.M.A., S.H.A. El Rahman, M.A. Al Absawy y S.S. Assem. 2012. Reproductive biology of *Argyrosomus regius* (Asso, 1801) inhabiting the south eastern Mediterranean Sea, Egypt. *Egypt. J. Aquat. Res.* (38):147-156. doi: 10.1016/j.ejar.2012.12.002.
- Shapiro, D. Y. 1981. Size, maturation and the social control of sex reversal in the coral reef fish *Anthias squamipinnis* (Peters). *J. Zool. Soc. Lon.* (193):105-128. doi: 10.1111/j.1469-7998.1981.tb01494.x.
- Shokita, S., K. Kakazu, A. Tomori y T. Toma. 1991. *Aquaculture in Tropical Areas*. Midori Shobo, Tokyo, 360 pp.
- Soto-Mardones, L., S. Marionni y A. Parés-Sierra. 1999. Variabilidad espaciotemporal de la temperatura superficial del mar en el Golfo de California. *Cienc. Mar.* (25):1-30.
- Sprague, M., J.R. Dick, A. Medina, D.R. Tocher, J.G. Bell y G. Mourente. 2012. Lipid and fatty acid composition, and persistent organic pollutant levels in tissues of migrating Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*, L.) broodstock. *Environ. Pollut.* (171):61-71. doi: 10.1016/j.envpol.2012.07.021.
- Stepien, C.A., R.H. Rosenblatt y B.A. Bargmeyer. 2001. Phylogeography of the spotted sand bass, *Paralabrax maculatofasciatus*: divergence of Gulf of California and Pacific coast populations. *Evolution* 55(9):1852-1862. doi: 10.1111/j.0014-3820.2001.tb00834.x.
- Sudarshan, S. y R.S. Kulkarni. 2013. Determination of condition factor (K) and somatic condition factor (Ks) hepatic and gonadosomatic indices in the freshwater fish *Notopterus notopterus*. *IJSR.* 2, 524-526.
- Suloma, A. y H.Y. Ogata. 2011. Arachidonic acid is a major component in gonadal fatty acids of tropical coral reef fish in the Philippines and Japan. *J. Aquac. Res. Dev.* 2:111. doi:10.4172/2155-9546.1000111.
- Thomas, B.A. y V.L. Donald. 1988. Fixation or preservation. En: B.A. Thomas & V.L. Donald (es.). *A Handbook of Normal Penaid Shrimp Histology*. World Aquaculture Society, Primera edición. Baton Rouge, LA, USA. 114 pp.
- Thomson, D.A., L.T. Findley y A.N. Kerstitch. 2000. *Reef fishes of the Sea of Cortez: the rocky-shore fishes of the Gulf of California*. University of Texas Press.
- Turner, C.H., E.E. Ebert y R.R. Given. 1969. *Man-made reef ecology*. State of California, Department of Fish and Game.
- Urquidez-Bejarano, P., M. Pérez-Velázquez, M.L. González-Félix y R. Castro-Longoria. 2016. Fatty acid and proximate composition of wild male and female king angelfish (*Holacanthus passer*) gonads during the ripe and spent developmental stages. *Anim. Reprod.* (13):820-829. doi: 10.21451/1984-3143-AR836.
- Warner, R.R., 1975. The adaptive significance of sequential hermaphroditism in animals. *Am. Nat.* 109, 61-82. doi: 10.1086/282974.
- Webb, R. y M. Kingsford. 1992. Protogynous hermaphroditism in the half-banded sea perch, *Hypoplectrodes maccullochi* (Serranidae). *J. Fish Biol.* 40(6):951-961. doi: 10.1111/j.1095-8649.1992.tb02640.x.
- Yamamoto, T. 1969. Sex differentiation. En: Hoar, W.S. y D.J. Randall (eds.). *Fish Physiology III*. Academic Press, New York. 117-175.

- Yogo, Y. 1985. Studies on the sexual maturation and reproductive ecology in three protogynous fishes. Report of Fishery Research Laboratory, Kyushu University, 7: 37–83.
- Zar, J.H. 1999. Biostatistical Analysis. Prentice-Hall, Inc. Englewood, New Jersey. 663 pp.
- Zin, T., A.A. Than y T.T. Naing. 2011. Fecundity (F), Gonadosomatic Index (GSI), Hepatosomatic Index (HSI), Condition Factor (K) and Length-weight Relationship (LWR) in *Channa orientalis* Bloch & Schneider, 1801. Universities Research Journal, 4(2).
- Zohar, Y. y C.C. Mylonas. 2001. Endocrine manipulations of spawning in cultured fish: from hormones to genes. *Aquaculture* 197(1-4):99-136. doi: 10.1016/S0044-8486(01)00584-1.



## ANEXOS

### **ANEXO I**

---

Preparación de la solución fijadora de Davidson (Alcohol-Formalina-Ácido acético)

---

330 ml de alcohol etílico al 95%.

220 ml de formaldehído (solución saturada con gas formaldehído; concentración final de 37-39%).

115 ml ácido acético glacial.

335 ml agua corriente (si hay disponibilidad, se prefiere agua destilada).

Almacenar a temperatura ambiente.

---

## ANEXO II

---

### Protocolo de deshidratación

---

Muestras previamente embebidas en solución fijadora de Davidson.

Pasar las muestras por diferentes concentraciones de alcoholes.

Alcohol al 70% mínimo 24 horas.

Alcohol al 80% por una hora.

Alcohol al 90% por una hora.

Alcohol al 95% por una hora.

Alcohol I al 100% por una hora.

Alcohol II al 100% por una hora.

Alcohol-Xileno I (1:1) por una hora.

Alcohol-Xileno II (1:1) por una hora.

Xileno I por una hora.

Parafina I por una hora.

Parafina II por una hora.

---

### ANEXO III

Proceso de tinción Hematoxilina de Harris y Eosina, utilizada en el Laboratorio de Histología del DICTUS (Modificada de Lightner, 1996).

PASO	SOLUCIÓN	TIEMPO
1	Xileno	5 minutos
2	Xileno	5 minutos
3	Alcohol-Xileno (1:1)	1 minuto
4	Alcohol al 100%	16 sumergidas
5	Alcohol al 100%	16 sumergidas
6	Alcohol al 95%	16 sumergidas
7	Alcohol al 95%	16 sumergidas
8	Agua corriente	Enjuagar y cambiar de agua
9	Hematoxilina	5 minutos
10	Agua corriente	Enjuagar (varias veces)
11	Alcohol ácido	10 sumergidas
12	Agua amoniacal	25 sumergidas
13	Agua corriente	25 sumergidas
14	Eosina	5 minutos
15	Alcohol al 95%	16 sumergidas
16	Alcohol al 95%	16 sumergidas
17	Alcohol al 100%	16 sumergidas
18	Alcohol al 100%	16 sumergidas
19	Alcohol-Xileno (1:1)	1 minuto
20	Xileno	5 minutos
21	Xileno	5 minutos
22	Obtención de preparaciones permanentes (montaje con resina sintética)	
<u>Alcohol ácido</u>	<u>100 ml</u>	<u>500 ml</u>
Etanol al 70%	99.0 ml	495 ml
HCl conc.	1.0 ml	5 ml
<u>Agua</u>		
<u>amoniacal</u>	<u>80 ml</u>	<u>400 ml</u>
Agua destilada	80 ml	400 ml
Hidróx. amonio	4 gotas	20 gotas