



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**PATRÓN SEXUAL, CICLO REPRODUCTIVO Y
TALLA DE PRIMERA MADUREZ (L₅₀) DE
Paralabrax auroguttatus (PISCES: SERRANIDAE)
EN LA ZONA NORTE DEL GOLFO DE
CALIFORNIA**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS

EN

MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA

JESSICA FRANEIVE ERASO ORDOÑEZ

LA PAZ, B.C.S., DICIEMBRE DEL 2018



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S. siendo las 12:00 horas del día 20 del mes de Noviembre del 2018 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

"PATRÓN SEXUAL, CICLO REPRODUCTIVO Y TALLA DE PRIMERA MADUREZ (L₅₀) DE
***Paralabrax auroguttatus* (PISCES: SERRANIDAE) EN LA ZONA NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA"**

Presentada por el alumno:

ERASO

Apellido paterno

ORDÓÑEZ

materno

JESSICA FRANEIVE

nombre(s)

Con registro:

A	1	7	0	6	1	0
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

MAESTRIA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

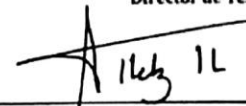
Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

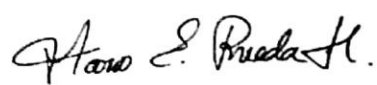
Directores de Tesis


DR. MARCIAL ARELLANO MARTÍNEZ
Director de Tesis


DRA. MARIAN ALEJANDRA CAMACHO MONDRAGÓN
2ª. Directora de Tesis

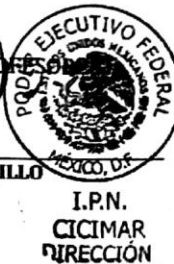

DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERRERA


DR. RODRIGO MONCAYO ESTRADA


DR. MARIO RUEDA HERNÁNDEZ

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES


DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 06 del mes de Diciembre del año 2018

El (la) que suscribe BIÓL. JESSICA FRANEIVE ERASO ORDOÑEZ Alumno (a) del Programa
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro A170610 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

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

DR. MARCIAL ARELLANO MARTÍNEZ y DRA. MARIAN ALEJANDRA CAMACHO MONDRAGÓN

y cede los derechos del trabajo titulado:

"PATRÓN SEXUAL, CICLO REPRODUCTIVO Y TALLA DE PRIMERA MADUREZ (L₅₀) DE

Paralabrax auroguttatus (PISCES: SERRANIDAE) EN LA ZONA NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA"

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

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la

siguiente dirección: franeive1990@gmail.com - arellano.marcial@gmail.com - hyma06@gmail.com

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

Jessica Franeive Eraso Ordoñez

BIÓL. JESSICA FRANEIVE ERASO ORDOÑEZ

Nombre y firma del alumno

*A mi familia, que es el motor de mis días, y siempre están aquí, allá y en todas partes
para impulsarme...*

Las circunstancias de la vida nos llevan a quien sabe que caminos, conocemos personas, hacemos nuestros los nuevos lugares y en cada final del día, respiras profundo y te das cuenta que todo vale la pena, todo lo bueno, todo lo malo, lo esperado, lo inesperado, lo sorprenderte, lo espontaneo, y que es cierto, fallamos, caemos, lloramos, pero nada nos quita esas ganas, ese entusiasmo y esa pasión con la que emprendemos retos, aventuras, momentos, y es ahí cuando nada se llama fracaso y toma la forma de llanto, desencanto, satisfacción, remembranza, experiencia... y que delicia que nuestra vida este colmada de todas esas infinitas historias por contar...

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas por la oportunidad de realizar el estudio de posgrado, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado, a PRONATURA por el material biológico utilizado en este estudio.

Al Marine Science Institute of University of Texas at Austin por la oportunidad de realizar mi estancia académica.

A mis directores de tesis Dr. Marcial Arellano Martínez por todo su apoyo, su guía, paciencia y confianza, Dra. Marian Camacho por su disposición, tenacidad y buenas vibras en cada paso. Y por su amistad, muchas gracias.

A mi comité tutorial Dr. Agustín Hernández, Dr. Rodrigo Moncayo, Dr. Mario Rueda.

Al Dr. Brad Erisman por todo su entusiasmo y disposición a la enseñanza.

A Alma, Josue, Marcelino, por compartirme de su conocimiento, con disposición y paciencia.

A cada uno de los doctores que tuve la oportunidad de conocer en sus cátedras, por su disposición a la enseñanza y calidez.

A mi familia, siempre a mi familia, por impulsarme en cada paso que doy, a mi madre, que ha motivado cada una de mis malas y buenas ideas, a mi tío Ángel que es mi ejemplo y mi orgullo, a mi tío Fernando, a mi abuela Teresa, a mi madrina Sonia, a toda esa familia que, aunque no escriba sus nombres estuvo pendiente de mí, me ofreció un café, ir por mí al aeropuerto, me envió sus buenas vibras o preguntan por mí, a todos muchas gracias.

A esos amigos de la vida, que no se requiere de preguntarles si están dispuestos, sino que por el contrario preguntan en que te ayudo, Gustavo Rodríguez, Alejandra Egas, Camila Ortega, Xiomara Becerra, Mauricio Cuellar, Melissa, Daniel Nieto, gracias.

A la familia que encontré en México, tan lejos de casa, en personas que hicieron de este país mi hogar, Zenia, Enriete, Astrid, Tavo, Rafa, Pollo, muchas gracias. A Joel Alejandro, gracias por todas las sonrisas.

A Nefer, Elsy, Maritza, Nicole y Pedro, gracias por todos los buenos momentos y por su amistad.

Y a todos quienes no mencione, y perdón por no hacerlo, pero siempre hubo un abrazo, un saludo cálido de corazón, a todos mis amigos, los de aquí, los de allá, muchas gracias.

ÍNDICE

GLOSARIO	vii
RESUMEN	xviii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES	3
2. 1 Generalidades de la reproducción de peces teleósteos	3
2. 2 Género <i>Paralabrax</i>	6
2. 3 <i>Paralabrax auroguttatus</i>	8
2. 4 Importancia comercial de <i>Paralabrax auroguttatus</i>	11
3. JUSTIFICACIÓN	13
4. OBJETIVOS	14
4. 1 Objetivo general.....	14
4. 2 Objetivos específicos	14
5. MATERIALES Y MÉTODOS	15
5. 1 Área de estudio y recolecta de organismos	15
5. 2 Procesamiento histológico	16
5. 3 Caracterización gonadal	16
5. 4 Diagnóstico del patrón sexual.....	19
5. 5 Determinación de la proporción sexual.....	19
5. 6 Ciclo reproductivo e índice gonadosomático	20
5. 7 Talla de primera madurez sexual (L_{50}).....	21
5. 8 Relación longitud-peso	21
5. 9 Análisis estadísticos.....	22
6. RESULTADOS	23
6. 1 Morfología gonadal	23
6. 2 Patrón sexual.....	28
6.2.1 Morfología gonadal bisexual	28
.....	30

6.2.1 Comparación del diámetro de los ovocitos en crecimiento primario entre machos con fase bisexual y hembras	30
6.2.3 Estructura de tallas	31
6. 3 Proporción sexual	32
6. 4 Ciclo reproductivo e índice gonadosomático	34
6. 5 Talla de primera madurez sexual (L ₅₀).....	36
6. 6 Relación longitud-peso	38
7. DISCUSIÓN.....	39
8. CONCLUSIONES.....	46
9. RECOMENDACIONES	47
10. LITERATURA CITADA	48

GLOSARIO

Administración pesquera: Capacidad y manejo pesquero, desarrollado a través de diferentes entes y políticas, con la finalidad del aprovechamiento sustentable. Tiene implícito contemplar la falla que se puede presentar en el reclutamiento, la sobrepesca y las especies en vía de extinción (Sparre & Venema, 1997).

Atresia: Proceso degenerativo por el cual ovocitos en varios estadios son reabsorbidos en el ovario, y puede ser ocasionado por factores extrínsecos (temperatura, luz, salinidad) o intrínsecos (hormonales) (Saborido-Rey, 2004; Valdebenito *et al.*, 2011).

Bisexual: Relativo a los organismos que tiene los dos sexos. Sus gónadas presentan morfológicamente tanto tejido testicular como ovárico, pero solo uno de los tejidos se desarrolla, (Sadovy & Domeier, 2005) por tanto, el otro, no tiene influencia en la potencial función reproductiva del individuo (Sadovy de Mitcheson & Liu, 2008).

Células foliculares: Células que rodean o envuelven el gameto femenino formando el folículo, las cuales proveen los elementos con que se nutre el gameto como el vitelo durante la vitelogénesis (Estrada & Uribe, 2002; Bone & Moore, 2008).

Células germinales: Células de los órganos reproductivos que al dividirse por meiosis producen gametos (Curtis *et al.*, 2001).

Células sexuales: Células o gametos que se diferencian en células masculinas o femeninas y hacen parte de la reproducción de las especies (Lagler *et al.*, 1984).

Ciclo reproductivo: Frecuencia de aparición de las diferentes fases de desarrollo gonádico durante el año y que en general es cíclico (Arellano-Martínez, 2001).

Cohorte: Clase anual, o generación. Un grupo de peces de un stock nacidos en el mismo año (Sparre & Venema, 1997).

Crecimiento primario: Fase inicial inmadura, en donde se da la diferenciación gonadal y la proliferación de los gametos, los ovocitos se caracterizan por presentar un gran nucléolo central o múltiples nucléolos que migran desde el centro hacia la periferia en el núcleo (Tyler & Sumpter, 1996; Brown-Peterson *et al.*, 2011).

Desove: Expulsión de los gametos por el organismo (Lagler *et al.*, 1984).

Diandría: Condición en la población en la que existen dos tipos de machos. Machos primarios que son aquellos que desde el inicio se desarrollan como machos, o machos secundarios que son aquellos que derivaron de una hembra funcional (Sadovy de Mitcheson & Liu, 2008).

Época reproductiva: Tiempo en el cual la mayoría de los miembros de una población expulsa los gametos al medio (Lucano-Ramírez *et al.*, 2011) o presentan la capacidad de desovar (Brown-Peterson *et al.*, 2011).

Espermátida: Célula sexual masculina resultante de la segunda división meiótica en el proceso de gametogénesis, la cual dará lugar a los espermatozoides por medio de la espermiogénesis (Curtis *et al.*, 2001).

Espermatocito: Los espermatocitos primarios son células diploides derivadas del proceso de espermatogénesis formadas por el aumento en tamaño de las espermatogonias. Los espermatocitos secundarios son células haploides originadas tras la meiosis I; cada espermatocito secundario se diferencia en una espermátida (Curtis *et al.*, 2001).

Espermatogénesis: Es un proceso que tiene lugar en el epitelio germinal, se lleva a cabo en tres fases: 1) fase proliferativa, implica divisiones mitóticas de las espermatogonias, 2) meiosis, división donde se reduce el número de cromosomas dando lugar a los espermatocitos primarios, secundarios y espermátidas y 3) espermiogénesis, fase en la cual las espermátidas se diferencian en espermatozoides (Méndez-Marín, 2008).

Espermatogonia: Célula sexual masculina esférica, de núcleo denso y diploide que se divide activamente por mitosis y que iniciará el proceso meiótico formando espermatoцитos primarios (Curtis *et al.*, 2001; Estrada & Uribe, 2002).

Espermatozoide: Gameto masculino que contiene la mitad del material genético de una célula normal (célula reproductora haploide) (Curtis *et al.*, 2001).

Espermatozoides residuales: Espermatozoides que no fueron expulsados durante la eyaculación (Pérez, 2016).

Estrategia reproductiva: Conjunto de tácticas reproductivas determinadas por el genotipo, que llevan al máximo la probabilidad de que los organismos dejen descendientes (Saborido-Rey, 2004).

Factor de condición: Valor numérico utilizado para comparar las condiciones de los organismos, con base a la talla del mismo y su peso (Saborido-Rey, 2004).

Fecundidad: Es el número total de ovocitos que potencialmente pueden ser producidos por una hembra. Es una estimación del potencial reproductivo de una hembra (Lagler *et al.*, 1984).

Fecundidad parcial: Producción de ovocitos por desove parcial (Saborido-Rey, 2004).

Folículo: Estructura vesicular que contiene un óvulo y los tejidos que lo envuelven (Tyler & Sumpter, 1996).

Folículo postovulatorio: Membranas externas que rodean al ovocito y permanecen como residuo después de que el ovocito ha sido liberado (Saborido-Rey, 2004).

Gameto: Célula reproductora haploide (n) que cuando su núcleo se fusiona con otro gameto (n) del sexo opuesto origina un cigoto ($2n$) que, por mitosis, desarrolla un individuo con células somáticas diploides ($2n$) (Curtis *et al.*, 2001).

Gametogénesis: Proceso biológico que determina la reproducción sexual, formando y diferenciando las células gaméticas (Giese & Pearse, 1974). Es el proceso de formación de gametos, por medio de la meiosis de células germinales, a partir de células diploides que generarán células haploides (Curtis *et al.*, 2001).

Gónada: Órgano en el que tiene lugar el desarrollo de las células reproductoras masculinas y/o femeninas (Bone & Moore, 2008).

Gonocorismo: Patrón sexual de una especie o población en la que todos sus individuos se reproducen exclusivamente como hembra o macho durante su vida, independientemente de su morfología gonadal (Sadovy de Mitcheson & Liu, 2008).

Gránulos de vitelo: Forma más usual de almacenamiento de reservas energéticas en el ovocito (Estrada & Uribe, 2002).

Hermafroditismo funcional: Condición de especies o poblaciones en la que una porción de sus individuos funciona con ambos sexos en algún momento de su vida. Pueden ser simultáneos o secuenciales (Sadovy de Mitcheson & Liu, 2008).

Hermafroditismo no funcional: Porción de individuos de una especie o población que pueden presentar tejido testicular y ovárico, en donde se tiene en cuenta la morfología que puede implicar función, pero es gonocórico, es decir que solo se reproduce como hembra o como macho en su vida (Sadovy de Mitcheson & Liu, 2008).

Hermafroditismo funcional secuencial: Tipo de patrón sexual en el que los organismos pueden ser protogínicos o protándricos pero no al mismo tiempo (Sadovy de Mitcheson & Liu, 2008).

Hermafroditismo funcional simultáneo: Tipo de patrón sexual en el que los individuos pueden reproducirse como hembra o macho al mismo tiempo o dentro de un corto lapso de tiempo (Sadovy de Mitcheson & Liu, 2008).

Hermafroditismo protándrico: Cambio sexual del pez de macho a hembra funcional. Puede mostrar monoginia o diginia (Sadovy de Mitcheson & Liu, 2008).

Hermafroditismo protogínico: Cambio sexual del pez de hembra a macho funcional. Pueden mostrar monandría y diandría (Sadovy de Mitcheson & Liu, 2008).

Inclusiones lipídicas: Cuerpos de lípido que a menudo aparecen en los ovocitos durante el estadio de alveolo cortical y continúan su producción y acumulación durante todo el crecimiento del ovocito (Saborido-Rey, 2004).

Índice gonadosomático: Método cuantitativo que se utiliza para estimar la condición reproductiva de los organismos. Es una relación del peso de la gónada expresado como porcentaje del peso corporal eviscerado (Saborido-Rey, 2004).

Índice hepatosomático: Relación del peso del hígado en proporción al peso corporal, expresado en porcentaje (Saborido-Rey, 2004).

Lumen: Cavidad interna, invaginación rodeada de epitelio germinal (Saborido-Rey, 2004).

Monandría: Condición en la cual todos los machos derivan de hembras funcionales y son llamados “machos secundarios” (Sadovy de Mitcheson & Liu, 2008).

Ovocito: Célula sexual femenina en desarrollo que se diferencia durante la ovogénesis. El tamaño del ovocito aumenta conforme va madurando debido a la acumulación de sustancias de reservas energéticas (Randall *et al.*, 1998).

Ovocitos hidratados: Última etapa de la vitelogénesis, caracterizada por un rápido incremento en el diámetro del ovocito, la disolución de los glóbulos de vitelo los cuales enmascara prácticamente todas las estructuras celulares y el estiramiento de las capas epiteliales que constituyen el folículo (Saborido-Rey, 2004).

Ovogénesis: El proceso de formación de células haploides femeninas u ovocitos (Helfman *et al.*, 2009).

Ovarios: Órganos pares presentes en la mayoría de los vertebrados, que se presentan en diversas formas (alargada, ovalada o irregular) y tamaños; situados en la cavidad abdominal, suspendidos en la cavidad del cuerpo por el mesovario.

Contienen células sexuales femeninas, ovogonias, que a través de la ovogénesis constituirán los ovocitos (Estrada & Uribe, 2002).

Ovario asincrónico: Son aquellos en los que se presentan ovocitos en diferentes fases de desarrollo cuando los ovarios ya están maduros, lo cual es característico de especies que desovan varias veces durante una sola temporada prolongada (Lucano-Ramírez *et al.*, 2011).

Patrón sexual: Se refiere al tipo reproductivo característico de una especie o población y puede describirse como gonocórico o hermafrodita (Sadovy de Mitcheson & Liu, 2008).

Patrones de reclutamiento: Son aquellas características que definen el ingreso de los individuos a la población de pesca o a la población reproductora, como las tasas de crecimiento, composición por edad (Sparre & Venema, 1997).

Proporción sexual: La relación de hembras y machos en un grupo de organismos (Lucano-Ramírez *et al.*, 2011).

Protandría: Maduración de la gónada masculina antes que la gónada femenina en organismos hermafroditas (Saborido-Rey, 2004).

Protoginia: Maduración de la gónada femenina antes que la gónada masculina en organismos hermafroditas (Saborido-Rey, 2004).

Potencial reproductivo: Capacidad de la población para producir huevos y larvas viables, que pueden finalmente ser reclutados a la pesquería o a la población reproductora, lo que además implica, la capacidad de una población para reemplazarse y continuar en equilibrio en su ecosistema (Saborido-Rey *et al.*, 2011).

Reproducción: Proceso biológico por el cual las especies se perpetúan, y, en combinación con cambios genéticos aparecen por primera vez características para las nuevas especies (Lagler *et al.*, 1984).

Reversión sexual: Es el momento en el cual las gónadas muestran clara evidencia de tejido testicular y ovárico, demostrando degeneración de alguno de estos tejidos. Implica el cambio de sexo en el individuo (Sadovy de Mitcheson & Liu, 2008).

Sexo funcional: Es el sexo reproductivo de un individuo (Sadovy de Mitcheson & Liu, 2008).

Sincronía sexual: Se refiere al momento en el cual ambos sexos presentan su mayor actividad reproductiva, la cual se puede evidenciar en el desove de hembras y machos o por medio del reporte de los máximos valores del índice gonadosomático (IGS) para ambos sexos durante determinado tiempo y los menores valores después de este tiempo (Lucano-Ramírez *et al.*, 2011).

Sustentabilidad: Base del manejo pesquero actual, que se refiere a una explotación del recurso que no afecte a futuro los stocks, en términos de biodiversidad (conservación), sostenibilidad (rentabilidad) y, sociedad (que no afecte negativamente a la población explotada) (Saborido-Rey *et al.*, 2011).

Stock: Unidad poblacional de una especie que vive en un área geográfica definida con parámetros biológicos similares (crecimiento, talla de madurez, fecundidad, entre otros) y que comparte la misma tasa de mortalidad (Sparre & Venema, 1997).

Tejido conjuntivo o conectivo: Tejido de soporte o compactación que se encuentra entre grupos de nervios, glándulas y células vasculares, por debajo de células epiteliales y cuyas células están distribuidas en forma irregular a través de una cantidad relativamente grande de material extracelular (Curtis *et al.*, 2001).

Testículos: Órgano productor de espermatozoides en vertebrados (Curtis *et al.*, 2001). Son órganos pares, alargados fusiformes o irregulares en peces, situados en la cavidad abdominal, a un costado o debajo de la vejiga natatoria. En ellos se lleva a cabo la maduración de los gametos masculinos mediante el proceso de espermatogénesis (Estrada & Uribe, 2002).

Vitelo: Material nutritivo de reserva de los ovocitos que se utiliza durante el desarrollo del embrión (Saborido-Rey, 2004).

Vitelogénesis: Acumulación de nutrientes en el ovocito (Giese y Pearse, 1974). Proceso de formación y acumulación del vitelo en el citoplasma de las células sexuales femeninas (Saborido-Rey, 2004).

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. <i>Paralabrax auroguttatus</i> (Walford, 1936). (A) Adulto y (B) Juvenil, imagen tomada por Allen, G.R (1995) Fishbase (2018).	9
Figura 2. Área de distribución de <i>Paralabrax auroguttatus</i> (IUCN, 2018).....	10
Figura 3. Sitios de recolecta de organismos.....	15
Figura 4. Microfotografía del ovario de <i>Paralabrax auroguttatus</i> . Fases de desarrollo gonadal. (A) Inmadurez. (B) Inicio de la fase de desarrollo. (C) Capacidad de desove. (D) Desove activo (subfase de capacidad de desove). (E) Regresión, en la gónada además de las estructuras características de la fase, se ven espacios que evidencian el desove representado con flechas en los espacios inferiores de la imagen. (F) Regeneración. Atresia (a), ovocitos cromatina nucléolo (Cn), lamela (la), ovocitos en alveolo cortical (Oac), ovocitos en crecimiento primario (Ocp), ovocitos en perinucleolo (Pn), ovocitos en vitelogénesis (Vtg), folículo postovulatorio (FPO), ovocitos hidratados (OH), paquetes musculares (pm).	25
Figura 5. Microfotografía del testículo de <i>Paralabrax auroguttatus</i> . Fases de desarrollo gonadal. (A) Desarrollo temprano. (B) Desarrollo intermedio. (C) Desarrollo avanzado. (D) Capacidad de desove. (E) Regresión. (F) Regeneración. Cisto (ci), cuerpo pardo (cp), epitelio germinal continuo (GEc), epitelio germinal discontinuo (GE _d), espermatogonias (Eg), espermatidas (Ep), espermatozoides (Ez), lumen del lóbulo (L), lóbulo (lo), seno espermático (ss).	27
Figura 6. Gónadas de machos bisexuales de <i>Paralabrax auroguttatus</i> de la pesca artesanal de la zona norte del Golfo de California. (A) Macho inmaduro bisexual. (B) Macho maduro bisexual con un islote testicular. (C) Macho maduro bisexual con dos islotes testiculares. (D) Macho maduro bisexual con tejido testicular restringido. (E) Macho maduro bisexual con tejido testicular no restringido. (F) Tejido testicular con ovocitos previtelogénicos dispersos. Cisto(ci), espermatidas (Ep), espermatogonias (Eg), espermatozoides(Ez), lamela (la), lumen gonadal (lu), ovocitos en crecimiento primario (Ocp), seno espermático (ss), tejido ovárico (To), tejido testicular (Tt).	30

Figura 7. Número de individuos por intervalo de talla, de hembras, machos y machos bisexuales de <i>Paralabrax auroguttatus</i> extraídos de la pesca artesanal de la zona norte del Golfo de California.	32
Figura 8. Proporción sexual mensual de <i>Paralabrax auroguttatus</i> extraídos de la pesca artesanal de la zona norte del Golfo de California. El asterisco (*) indica diferencias estadísticas significativas en la proporción de sexos.....	33
Figura 9. Proporción sexual por tallas de <i>Paralabrax auroguttatus</i> extraídos de la pesca artesanal de la zona norte del Golfo de California. El asterisco (*) indica diferencias estadísticas significativas en la proporción de sexo.	34
Figura 10. Ciclo reproductivo de (a) hembras y (b) machos funcionales de <i>Paralabrax auroguttatus</i> extraídos de la pesca artesanal de la zona norte del Golfo de California.....	35
Figura 11. Variación mensual promedio (media $\pm$ error estándar) del índice gonadosomático de (a) hembras y (b) machos de <i>Paralabrax auroguttatus</i> extraídos de la pesca artesanal de la zona norte del Golfo de California. Las barras indican el error estándar. Las letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).	36
Figura 12. Talla de primera madurez de (a) hembras y (b) machos de <i>Paralabrax auroguttatus</i> extraídos de la pesca artesanal de la zona norte del Golfo de California. La línea punteada indica la longitud a la cual el 50% de los individuos se encuentran sexualmente maduros.	37
Figura 13. Relación longitud-peso de (a) hembras y (b) machos de <i>Paralabrax auroguttatus</i> extraídos de la pesca artesanal de la zona norte del Golfo de California.....	38

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Descripción microscópica de las fases de desarrollo gonadal de <i>Paralabrax auroguttatus</i> . El desove activo hace referencia a una subfase dentro de la fase de capacidad de desove. Ovocito en crecimiento primario (Ocp), ovocitos cromatina nucléolo (Cn), ovocitos en perinuéolo (Pn), ovocitos con alveolos corticales (Oac), inclusiones lipídicas (il) vitelogénesis (Vtg), folículos post-ovulatorios (FPO), espermatogonias (Eg), espermatocitos (Sc), espermatidas (Ep), espermatozoides (Ez), cisto o cripta (ci), epitelio germinal (GE).....	17
Tabla 2. Longitud y peso de <i>Paralabrax auroguttatus</i> extraídos de la pesca artesanal de la zona norte del Golfo de California. Media $\pm$ desviación estándar (Min-Max).	31

RESUMEN

Paralabrax auroguttatus es endémica del noroeste de México, incluyendo el Golfo de California, y está clasificada en la lista roja de la IUCN en la categoría de “Datos Insuficientes”. Presenta una creciente importancia comercial y cuenta con poca información biológica reproductiva. El objetivo de este estudio fue caracterizar aspectos reproductivos de la especie en la zona norte del Golfo de California. Para ello, desde marzo de 2009 hasta junio de 2011, se obtuvieron de 20 a 30 individuos mensuales de la pesca artesanal. De cada organismo se registraron datos biométricos y las gónadas fueron procesadas histológicamente. Se analizaron 622 organismos, que midieron entre 23.3 y 59.5 cm de longitud total y pesaron entre 104.73 y 3805 g de peso total. Microscópicamente se determinaron 295 hembras (47%) y 327 machos (53%). El 27% de los machos, presentaron ovocitos en crecimiento primario, estructura lamelar, lumen ovárico, al mismo tiempo que senos espermáticos y desarrollo espermatogénico completo. Los machos que presentaron estas características fueron más pequeños y livianos que los machos normales, y los ovocitos fueron significativamente más pequeños que los de las hembras. Estas evidencias mostraron que *P. auroguttatus* es un organismo gonocórico con una fase bisexual de un posible pasado hermafrodita protogínico. El ovario presentó un desarrollo de tipo asincrónico, un ciclo reproductivo estacional con desoves de febrero a junio, tanto hembras como machos, lo que indica una sincronía reproductiva. La proporción sexual total fue de 0.9H:1M (hembras:machos funcionales) y no fue significativamente diferente de la esperada 1:1. Sin embargo, en algunos meses hubo significativamente más machos que hembras. La longitud total a la cual el 50% de ellos se encuentran sexualmente maduros fue de 33.1 y 36.5 cm para machos y hembras, respectivamente. Estos resultados aportan información biológica reproductiva básica de la especie indispensable para el conocimiento ecológico y el manejo sustentable del recurso.

Palabras claves: aspectos reproductivos, gonocorismo, hermafrodita protogínico

ABSTRACT

Paralabrax auroguttatus is endemic to northwestern Mexico, including the Gulf of California, and is located on the IUCN red list in the category of "Data Deficient." It has commercial importance and has little biological reproductive information. The objective of this study was to characterize reproductive aspects of the specie in the northern Gulf of California. 20 to 30 individuals were obtained monthly from artisanal fishing from March 2009 to June 2011. Biometric data were recorded from each organism and the gonads were histologically processed. We analyzed 622 organisms, they measured between 23.3 and 59.5 cm of total length and weighed between 104.73 and 3805 g of total weight. Microscopically, 295 females (47%) and 327 males (53%) were determined. 27% of the males presented oocytes in primary growth, lamellar structure, ovarian lumen, and spermatogenic development. The males that presented these characteristics were smaller and lighter than the normal males, and the oocytes were significantly smaller than those of the females. These evidences showed that *P. auroguttatus* is a gonochoric organism with a bisexual phase of a possible protogynous hermaphrodite past. The ovary was a development of asynchronous type. The reproductive cycle showed spawning from February to June, both females and males, which indicates a reproductive synchrony. The total sexual proportion was 0.9H: 1M (females: functional males) and was not significantly different from the expected (1: 1), however, in some months there were significantly more males than females. The total length at which 50% of them are sexually mature was 33.1 and 36.5 cm for males and females, respectively. These results contribute to the basic reproductive biological information of the species indispensable for the ecological knowledge and sustainable management of the resource.

Keys words: Reproductive aspects, gonochorism, protogynous hermaphrodite

1. INTRODUCCIÓN

Los estudios biológicos reproductivo de especies de peces que se extraen comercialmente, en conjunto con variables morfométricas y parámetros ambientales, permiten evaluar el estado y potencial del recurso explotado (García-Díaz *et al.*, 1997; Arellano-Martínez *et al.*, 2001; Lowerre-Barbieri *et al.*, 2011; Bahamonde *et al.*, 2013). Las tácticas y estrategias reproductivas tales como el patrón reproductivo, época de actividad reproductiva, talla de primera madurez sexual, entre otras (Aburto-Oropeza *et al.*, 2008; Erisman *et al.*, 2008) constituyen la información básica e indispensable para la generación de medidas de conservación, manejo y administración sustentable de los peces explotados (Murua *et al.*, 2003; Arellano-Martínez *et al.*, 2006; Reñones *et al.*, 2010; Lucano-Ramírez *et al.*, 2011).

En el estudio de peces de la familia Serranidae se ha identificado variadas y complejas estrategias sexuales (Sadovy & Domeier, 2005; Liu & Sadovy de Mitcheson, 2011; Freitas *et al.*, 2018), las cuales incluyen diversos patrones sexuales que varían entre gonocorismo y hermafroditismo protogínico (Hovey & Allen, 2000; Baca Hovey *et al.*, 2002), hermafroditismo sincrónico o simultáneo (García-Díaz *et al.*, 2001; Tuset *et al.*, 2005) y la probable autofecundación (Millitelli & Rodríguez, 2011), diferentes tallas de maduración sexual (Love *et al.*, 1996), así como temporadas de desove y formación de agregaciones reproductivas que varían dentro de las poblaciones, los lugares y el tiempo, sin dejar de lado la sincronía de los procesos con los parámetros ambientales (Cordes & Allen, 1997; Erisman & Allen, 2006; Estrada-Godínez *et al.*, 2011). En este sentido la identificación de las estrategias reproductivas puede contribuir en el manejo pesquero, dado que, por ejemplo, los organismos que tienen potencial de cambio de sexo presentan mayor sensibilidad a la selectividad de talla de captura (Erisman *et al.*, 2010) y pudieran presentar limitación espermática en especies protogínicas y limitación ovocitaria en especies protándricas (Butler *et al.*, 2018). Asimismo, el éxito reproductivo requiere de la sincronización de diversos procesos como la diferenciación sexual, el cambio de sexo, la edad y talla de maduración (Bahamonde *et al.*, 2013; Provost *et al.*, 2017).

Paralabrax auroguttatus o cabrilla extranjera es una especie endémica del noroeste de México (Findley *et al.*, 2010), que se distribuye desde isla Cedros, hasta Mazatlán Sinaloa, incluyendo el Golfo de California (Pondella *et al.*, 2001; Avendaño-Ibarra *et al.*, 2009). Es demersal, carnívora y habita arrecifes rocosos desde profundidades de 25 a 155 metros (Pondella *et al.*, 2001). Inicialmente su importancia radicaba en la pesca deportiva (Fischer *et al.*, 1995), tomando auge hacia la actualidad como un recurso en la pesca artesanal (Aburto-Oropeza *et al.*, 2008; Avendaño-Ibarra *et al.*, 2009), el cual empieza a ser presionado con pesquería no regulada (Danemann y Ezcurra, 2008) y del que se cuenta con poca información biológica reproductiva disponible. Respecto a aspectos reproductivos en *P. auroguttatus*, únicamente se ha reportado una proporción de sexos sesgada con más machos que hembras y un posible gonocorismo dado la proporción por sexos en Bahía de los Ángeles e Islas Encantadas (Pondella *et al.*, 2001). También en el Golfo de California se confirma el gonocorismo en un estudio de un solo mes de muestreo, donde se menciona que esta especie presenta una fase bisexual (Sadovy & Domeier, 2005), generando expectativas para ampliar el estudio.

Teniendo en cuenta que los antecedentes biológicos y ecológicos son indispensables para desarrollar medidas de protección y manejo de las especies (Saborido-Rey *et al.*, 2011; Lucano-Ramírez *et al.*, 2011), y que la cabrilla extranjera constituye un recurso de importancia comercial, para el cual se ha documentado la disminución en las capturas a través del tiempo, y una pesca no regulada (Pondella *et al.*, 2001; Aburto-Oropeza *et al.*, 2008; Erisman *et al.*, 2010; Alvaréz-Flores, 2013). El objetivo de este estudio fue definir el patrón sexual utilizando un mayor número de organismos, describir el ciclo reproductivo y estimar la talla de madurez sexual de *P. auroguttatus* en la zona norte del Golfo de California, proporcionando información fundamental para una futura protección y manejo sustentable del recurso.

2. ANTECEDENTES

2. 1 Generalidades de la reproducción de peces teleósteos

Hay múltiples factores ambientales o exógenos que influyen en la reproducción. Los principalmente estudiados y relacionados con la maduración tanto en campo como en laboratorio son: el alimento, la temperatura y el fotoperiodo, dado que éstos se encuentran íntimamente relacionados con la madurez gonádica, la reversión sexual y la proporción de sexos por área (Avilés-Quevedo, 2005).

Las diferencias de épocas de maduración, desove, tallas, entre otros caracteres de los individuos de la misma especie, pero en zonas diferentes, se debe además al efecto de múltiples factores como por ejemplo la condición energética de los parentales y el nivel de saturación de la población (Csirke, 1980; Murua *et al.*, 2003, Alonso-Fernández y Saborido-Rey, 2011; Cooper *et al.*, 2013; Gantias *et al.*, 2015). Los parámetros son específicos, al igual que los factores ambientales para cada población o especie del mismo grupo taxonómico y deben ser investigados y comparados para cada caso (Saborido-Rey *et al.*, 2011). Así, la cantidad de energía que requiere el proceso reproductivo se ve influenciado por la temperatura, que modula los procesos internos como la gametogénesis y el desove, y se verá reflejado en la supervivencia de los huevos y larvas (Piñon *et al.*, 2009; Lucano-Ramírez *et al.*, 2014; Pérez, 2016). Por ejemplo, en *Mycteroperca rosácea*, se determinó un rango de temperatura para el desove entre los 20 y 23 °C en Santa Rosalía, similar al reportado por Kiewek-Martínez (2009) y Estrada-Godínez (2012) para la misma especie. Así, con el establecimiento de mínimos y máximos de temperatura para la reproducción de las especies es posible evidenciar una inhibición de la gametogénesis o el incremento en los porcentajes de atresia y degeneración ovocitaria, en cualquiera de las etapas de desarrollo, cuando se sobrepasan dichos límites térmicos. Esto permite comprender que en la reproducción la temperatura es el factor que permite la sincronización de las condiciones ambientales óptimas e induce la maduración final y el desove de los gametos (Estrada-Godínez *et al.*, 2014).

El desarrollo de la madurez ovárica en los peces involucra principalmente procesos fisiológicos y bioquímicos como resultado de la incorporación masiva de lípidos y proteínas en los ovocitos en crecimiento (Zohar *et al.*, 1995). Esto implica el incremento de peso de la hembra en tiempos determinados (madurez), relativos a la especie y hábitat. Para algunas especies se conoce la restricción alimentaria debido al periodo de madurez y desove, en el cual cuentan únicamente con las sustancias de reserva energética. En ese sentido, la composición de la dieta es vital para los reproductores en la calidad de huevos y larvas, en términos de fecundidad, número de huevos viables, tamaño del glóbulo de aceite, tasa de eclosión y porcentaje de larvas normales (Zohar *et al.*, 1995; Saborido-Rey *et al.*, 2011).

El eje hipotálamo-hipófisis-gónada es clave en el desarrollo normal del sistema reproductivo, dado que diferentes hormonas son secretadas por cada uno de estos órganos. El hipotálamo controla la síntesis de la hormona liberadora de las gonadotropinas, las cuales actúan en la pituitaria (hipófisis), estimulando la secreción de la hormona luteinizante y el folículo estimulante las cuales, a su vez, actúan sobre los ovarios y testículos desencadenando la maduración gonadal (ovogénesis y espermatogénesis). Dependiendo de los requerimientos de los organismos, este eje controla las concentraciones hormonales para que se desarrollen los procesos reproductivos (Zhang *et al.*, 2016).

De este modo, si se presentan variaciones estacionales en el ambiente (temperatura, fotoperiodo) el control endocrino del sistema genera una respuesta, a través del hipotálamo, para la regulación (incremento o disminución) de la hormona liberadora de las gonadotropinas. Por ejemplo, en carpa común (*Cyprinus carpio*) en laboratorio se ha evidenciado la masculinización por la inducción hormonal, sin embargo, es la temperatura la que influencia la eficiencia del tratamiento en cuestión (Devlin & Nagahama, 2002).

El eje hipotálamo-hipófisis-gónada se encuentra ampliamente relacionado con la determinación sexual, por la implicación genética en la secreción hormonal y la presencia de enzimas que afectan la producción de andrógenos y estrógenos. Incluso, en condiciones de cultivo también se tiene en cuenta en el uso hormonal para inducir

el sexo de los organismos o la inhibición de la reproducción (Rosales, 2008). Este control artificial de los procesos hormonales puede tener diversos objetivos como la obtención de organismos más útiles para la acuicultura para su posterior comercialización, en el sentido de que al inhibirse la reproducción no hay gasto energético en el proceso y los organismos alcanzan tallas óptimas para competir en el mercado.

El gonocorismo es la táctica reproductiva en la cual los individuos se reproducen exclusivamente como hembras o como machos a lo largo de su vida. El gonocorismo no considera la morfología gonadal y en el caso de organismos que presenten tejido ovárico inmaduro y testicular en la misma gónada, teniendo en cuenta que las microestructuras observadas no infieran una posible función potencial, éstos son considerados como bisexuales (Sadovy & Domeier, 2005; Sadovy de Mitcheson & Liu, 2008). De modo que, si no existe evidencia de un cambio de sexo después de la maduración, como el desarrollo completo del tejido ovárico y espermatogénico, aunque se presente morfología de una fase bisexual, los organismos se catalogan como gonocóricos (Erisman *et al.*, 2007). Sin embargo, éste diagnóstico del patrón sexual debe ser apoyado por otras características como, una proporción sexual por talla (Freitas *et al.*, 2018) que refleje una dominancia de uno de los sexos en mayores tallas, la estructura de la población en donde los machos son más grandes que las hembras, en el caso de especies protogínicas (Baca Hovey *et al.*, 2002); el factor social como una influencia en el cambio del sexo, en donde la mayor cantidad de hembras crea la necesidad de tener un macho en la agregación, teniendo en cuenta la plasticidad del carácter (Liu & Sadovy de Mitcheson, 2011).

El hermafroditismo es la reproducción de los peces como hembras y como machos a lo largo de su vida (Sadovy de Mitcheson & Liu, 2008). Puede ser de tipo simultáneo (sincrónico) o secuencial. El primero se refiere a los peces que se reproducen como machos y hembras al mismo tiempo (e.g., *Serranus cabrilla* (García-Díaz *et al.*, 1997), *S. scriba* (Tuset *et al.*, 2005) y *S. auriga* (Militelli & Rodrigues, 2011)). El segundo puede ser de dos tipos, protogínico, en el que los individuos primero se reproducen como hembras y luego como machos (e.g., *Paralabrax maculatofasciatus*

(Hastings, 1989) *Epinephelus coioides* (Liu & Sadovy de Mitcheson, 2011) y *Epinephelus morio* (Freitas *et al.*, 2018)), o protándrico, en el que los organismos se reproducen primero como machos y luego como hembras (e.g., *Sparus aurata* y *Amphiprion* sp. (Devlin & Nagahama, 2002)).

Estudios de biología reproductiva de peces de importancia comercial se enfocan en variables morfométricas (talla, peso, tácticas reproductivas como la maduración gonadal, sincronía reproductiva), que en conjunto determinan estrategias reproductivas, las cuales están relacionadas a su vez con las condiciones propias del ambiente, determinando la capacidad reproductiva individual. Todo lo anterior, establece el funcionamiento reproductivo de la población, y puede ser observado en características puntuales como la talla de maduración de machos y hembras (Saborido-Rey *et al.*, 2011).

La talla de primera madurez poblacional (L_{50}) definida como la talla a partir de la cual el 50% de los individuos de la población están sexualmente maduros (Saborido-Rey, 2004), es estimada en diferentes estudios de administración pesquera, dado que es uno de los parámetros que permite el manejo sustentable del recurso explotado (Aburto-Oropeza *et al.*, 2008).

Este parámetro se estima para cada sexo, calculando las frecuencias en número de individuos que presentaron actividad reproductiva (organismos con gónadas en fases de madurez, desove y postdesove) por intervalos de longitud total (Brown-Peterson *et al.*, 2011). Calcula las frecuencias relativas y acumuladas, de modo que la media de los rangos de longitud se utiliza como marca de clase asignada a las frecuencias acumuladas que se ajustan a diferentes modelos como el logístico.

2. 2 Género *Paralabrax*

El género *Paralabrax*, está representado por diez especies (Sadovy & Domeier, 2005), dos de las cuales son endémicas: *P. albomaculatus* de isla Galápagos (Salinas-de-León *et al.*, 2017) y *P. auroguttatus* del noroeste de México, incluyendo el Golfo de California (Findley *et al.*, 2010). *Paralabrax dewegeri* es la única especie del género

que se distribuye en el Caribe sur y noreste de Sur América (Querales *et al.*, 2004), y el resto se distribuyen en el Océano Pacífico (Erisman y Allen, 2006). Estas especies constituyen un gran interés, no solo por su importancia económica (Pondella *et al.*, 2001; Aburto-Oropeza *et al.*, 2008), sino por la presencia de caracteres biológicos reproductivos con alta variación, los cuales están sujetos a parámetros microambientales específicos y la plasticidad propia de cada especie (Saborido-Rey *et al.*, 2011). Por ejemplo, *P. albomaculatus* presenta una proporción de hembras a machos de 4:1, en donde los machos son significativamente de mayor tamaño que las hembras, además hay una evidencia microscópica gonadal, aunque baja, de individuos con fase bisexual, una temporada de desove de octubre a marzo, con un pico reproductivo en noviembre y enero, y una talla de madurez del 100% de hembras de 37 cm de longitud total (Salinas-de-León *et al.*, 2017).

P. maculatofasciatus, una de las especies más estudiadas del género, presenta un patrón sexual que varía según la latitud, así, en zonas latitudinales altas es hermafrodita protogínica, mientras que en latitudes medias es gonocórica, o incluso puede presentar ambos patrones sexuales (Hastings, 1989; Hovey & Allen, 2000; Alcántar-Vásquez *et al.*, 2008). Sin embargo, la determinación de su patrón sexual ha generado grandes controversias dado los criterios de los autores para diagnosticarlo (Sadovy & Domeier, 2005), dado que se incluyen caracteres como la presencia de cuerpos pardos, los cuales son el resultado derivado de procesos de los organelos y la acumulación de sus pigmentos, y no un carácter que implique cambio sexual. Por su parte, otras especies despliegan diversas tácticas reproductivas, como *P. clathratus* quien ha evidenciado la formación de agregaciones reproductivas (Erisman y Allen 2006). *Paralabrax nebulifer* evidencia desove por grupos de ovocitos y una fecundidad potencial anual por hembra de aproximadamente 3.5 millones de ovocitos (Jarvis *et al.*, 2010). Finalmente, existen otras especies menos documentadas como *P. loro* o *P. auroguttatus* catalogadas en la actualidad por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza como especies con datos insuficientes (IUCN, 2018).

2. 3 *Paralabrax auroguttatus*

Clasificación taxonómica

Reino: Animalia

Phyllum: Chordata

Subphyllum: Vertebrata

Superclase: Osteichthyes

Clase: Actinopterygii

Subclase: Neopterygii

Infraclasse: Teleostei

Orden: Perciformes

Superorden: Acanthopterygii

Orden: Perciformes

Suborden: Percoidei

Familia: Serranidae

Subfamilia: Serraninae

Género: *Paralabrax* ((Girard, 1856))

Especie: *Paralabrax auroguttatus* (Walford, 1936)

Los adultos se caracterizan por una tonalidad gris clara, con cuatro franjas café-naranjas en el dorso del cuerpo; la cabeza, la región ventral y el pedúnculo presenta manchas anaranjadas (Fig. 1A); los juveniles presentan franjas longitudinales e hileras de manchas café oscuras (Fig. 1B) (Fischer *et al.*, 1995).



Figura 1. *Paralabrax auroguttatus* (Walford, 1936). (A) Adulto y (B) Juvenil, imagen tomada por Allen, G.R (1995) Fishbase (2018).

Paralabrax auroguttatus o cabrilla extranjera es una especie endémica del noroeste de México (Findley *et al.*, 2010), habita la zona tropical o templado-cálido en aguas del Pacífico nororiental, se distribuye desde isla Cedros, hasta Matzatlán Sinaloa, incluyendo el Golfo de California (Fig. 2; Pondella *et al.*, 2001; Avilés-Quevedo, 2005; Aburto-Oropeza *et al.*, 2008; Avendaño-Ibarra *et al.*, 2009).



Figura 2. Área de distribución de *Paralabrax auroguttatus* (IUCN, 2018)

Habitan fondos rocosos desde profundidades de 25 a 155 metros (Pondella *et al.*, 2001). Son depredadores demersales, los juveniles pueden encontrarse en zonas someras y profundas, mientras que los adultos se encuentran en zonas profundas, se alimentan de peces, pulpo, calamar, camarones y cangrejos (Aburto-Oropeza *et al.*, 2008).

Las mayores capturas de la especie han sido reportadas en los primeros seis meses del año, pero principalmente de mayo a junio, temporada en la cual se reportan las agregaciones de reproducción para la zona de Bahía de los Ángeles (Aburto-Oropeza *et al.*, 2008)

A diferencia del hermafroditismo observado en especies de serránidos como *P. maculotofasciatus* (Avilés-Quevedo, 2005), *P. clathratus* (Oda *et al.*, 1993), *P. auroguttatus* ha sido documentada como gonocórica, con tendencia a formar grupos de igual proporción de sexos, tallas y edades (Pondella *et al.*, 2001; Aburto-Oropeza *et al.*, 2008).

Un estudio sobre parámetros demográficos de la cabrilla extranjera, realizado en Bahía de los Ángeles e Islas Encantadas, menciona que esta especie presenta una proporción de sexos sesgada, con más machos que hembras y una talla media significativamente más pequeña para hembras, con la proporción de sexos distribuida uniformemente por intervalo de talla, lo cual ha sido evidenciado en cabrillas y sugiere gonocorismo (Pondella *et al.*, 2001). Este autor también reportó que *P. auroguttatus* en este sitio presenta una relación longitud-peso potencial y una tasa de mortalidad de 49% para peces de cinco o más años. Otro estudio confirmó, a través de un análisis histológico con muestras obtenidas en un mes de muestreo, que *P. auroguttatus* es gonocórico, pero con una fase bisexual, aunque una morfología gonadal típica de serránidos (Sadovy & Domeier, 2005).

Por otro lado, Aburto-Oropeza *et al.* (2008), adicionaron algunas características ecológicas de la especie, como la preferencia por aguas templadas del Pacífico mexicano y Golfo de California, en localidades como Bahía de los Ángeles y Puerto Peñasco.

2. 4 Importancia comercial de *Paralabrax auroguttatus*

Dentro del grupo de los serránidos que se explotan en el Golfo de California, la cabrilla extranjera hace parte de las especies denominadas de segunda y tercera clase, que son aquellas consideradas de menor explotación por su tamaño pequeño y precio bajo en el mercado. Sin embargo, en las últimas décadas ha incrementado su captura al verse notablemente reducidas las poblaciones de las de primera clase como lo son la cabrilla sardinera (*Mycteroperca rosace*), el mero (*Epinephelus itajara*), tiburones y baquetas (Aburto-Oropeza *et al.*, 2008; Danemann y Ezcurra, 2008), convirtiéndose en una de las principales especies de la pesca ribereña explotadas en el norte del Golfo (Ramírez-Pérez *et al.*, 2011). Seis toneladas promedio mensuales de captura en los meses de marzo a julio, son reportadas. Con un precio promedio de \$7 m.n./Kg, con una talla mínima de 20.1 cm y 59.4 cm de talla máxima registrada de muestreos pesqueros en Bahía de los Ángeles y una talla estimada de primera madurez de 25 cm.

P. auroguttatus para la zona norte del Golfo de California, se ha convertido en una de las principales especies de la pesca ríverera y mostró un incremento en volúmenes de captura de 1995 al año 2000 (Danemann y Ezcurra, 2008). En Bahía de los Ángeles, como una de las zonas de acopio de la pesca artesanal, antes de 1995 se pescaba en promedio menos de tres toneladas anuales, volumen de captura que se incrementó desde el año 2000, superando las 12 toneladas anuales en promedio (Aburto-Oropeza *et al.*, 2008). En adelante, se han registrado capturas constantes para la especie (Álvarez-Flores, 2013), mismo volumen de captura, con un probable efecto sobre la población reproductora al prevalecer las mayores capturas en las áreas y tiempo en que ésta realiza las agregaciones reproductivas (Aburto-Oropeza *et al.*, 2008). Sin mayor información biológica reproductiva además de la que se encuentra en estudios de otras especies del género *Paralabrax* (Pondella *et al.*, 2001).

3. JUSTIFICACIÓN

La cabrilla extranjera tiene una distribución limitada, lo que la hace vulnerable a cambios en el ambiente o alteraciones en el entorno, y consecuentemente conlleva a una presión pesquera. Esta especie está catalogada con datos insuficientes y en comparación con otras especies del género *Paralabrax*, los estudios sobre su biología y ecología son muy pocos. Presenta una creciente importancia como especie objetivo en la pesca artesanal del norte del Golfo de California, dado el descenso en las capturas de especies de primera. Manifiesta una posible presión sobre el recurso, dado que son aprovechadas las agregaciones de la especie para su captura. Conocer los aspectos reproductivos como el patrón sexual, ciclo reproductivo, talla de madurez sexual son de vital importancia para diseñar medidas para la protección, el manejo y regulación pesquera.

4. OBJETIVOS

4. 1 Objetivo general

Caracterizar algunos aspectos reproductivos de *Paralabrax auroguttatus* de la pesca artesanal de la zona norte del Golfo de California.

4. 2 Objetivos específicos

- Caracterizar el desarrollo gonadal de *P. auroguttatus*.
- Diagnosticar el patrón sexual de *P. auroguttatus* de la zona norte del Golfo de California.
- Determinar la proporción sexual de *P. auroguttatus* de la zona norte del Golfo de California.
- Caracterizar el ciclo reproductivo *P. auroguttatus* de la zona norte del Golfo de California.
- Estimar la talla de primera madurez sexual (L_{50}) de *P. auroguttatus* de la zona norte del Golfo de California.
- Estimar la relación longitud-peso de *P. auroguttatus* de la zona norte del Golfo de California.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Área de estudio y recolecta de organismos

El presente estudio fue realizado en el norte del Golfo de California, en la zona conocida por la presencia de Las Grandes Islas (Isla Ángel de la Guarda e Isla Tiburón; Lavin Peregrina & Marinone Moschetto, 2003) Bahía de los Ángeles y Bahía de Kino (Figura 3). Esta región se caracteriza por mareas y vientos que generan una intensa dinámica de mezcla de nutrientes en la zona eufótica promoviendo una alta productividad primaria en invierno y primavera, y una temperatura superficial del mar baja en comparación con el resto del Golfo (promedio anual de 23°C; Escalante *et al.*, 2013).

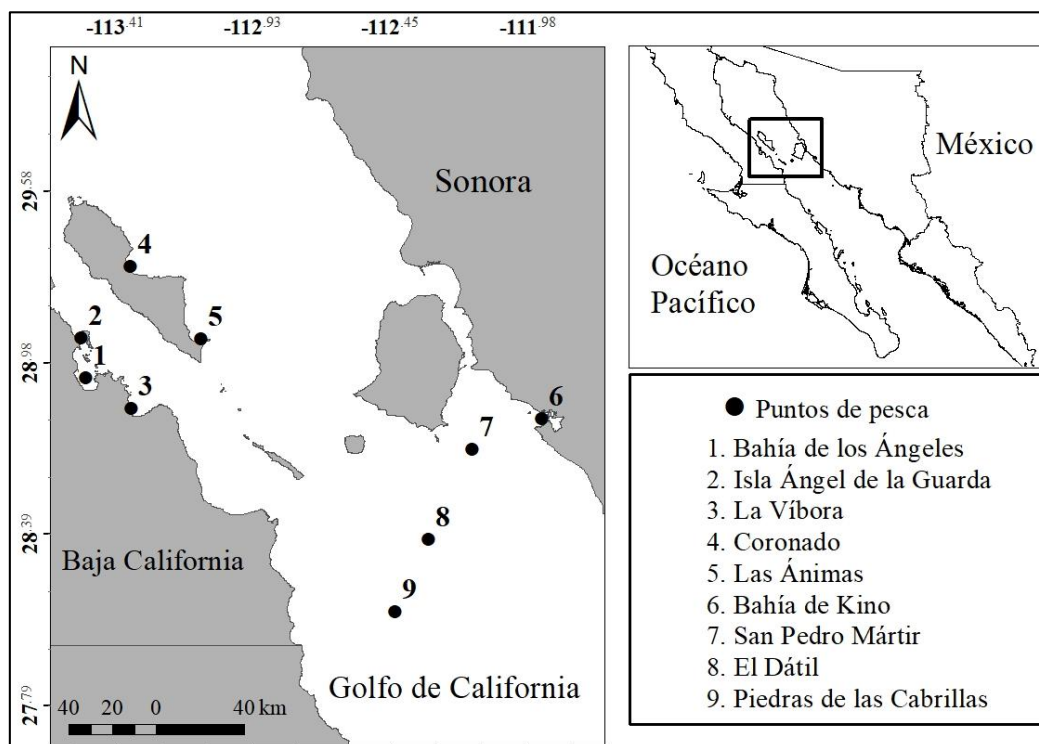


Figura 3. Sitios de recolecta de organismos.

En cada sitio, desde marzo de 2009 hasta junio de 2011, se colectaron entre 20 y 30 especímenes mensuales de *P. auroguttatus*, a profundidades de entre 30 y 70 m, utilizando trampa y piola. A cada organismo, se le registro la longitud total (LT) (± 1

mm) y el peso total (PT) (± 0.1 g). Las gónadas fueron extraídas y pesadas (± 0.1 g) y preservadas en formaldehído al 10%, para su posterior procesamiento histológico.

5. 2 Procesamiento histológico

Cada porción de gónada fue deshidratada en una serie ascendente de etanol al 70%, 80%, 96% I, 96% II, 96% III, 100% I, 100% II, y 100% III, una hora por cada concentración de alcohol. Posteriormente, las muestras fueron semi aclaradas en un baño de alcohol-Neo-Clear® (1:1) durante 45 min, y luego aclaradas en dos baños de Neo-Clear® cada uno de 45 min. Luego, cada muestra fue impregnada con parafina Paraplast® líquida (con punto de fusión en 56°C) con cuatro baños de una hora cada uno. Finalmente, las muestras fueron incluidas también en parafina Paraplast® usando moldes de plástico y un dispensador de parafina para elaborar los cubos. Se realizaron cortes seriados a 5 μ m de espesor usando un micrótopo rotatorio (Leica), y montando los tejidos en portaobjetos. Se realizó la tinción básica con hematoxilina-eosina en método regresivo (Howard y Smith, 1983). Finalmente, cada placa fue sellada con resina sintética al 60% en xilol.

5. 3 Caracterización gonadal

Las placas histológicas se examinaron con un microscopio de luz y se caracterizó la morfología gonadal (Smith & Young, 1966; Wallace & Selman, 1981). Se realizó la asignación de las fases de desarrollo gonádico de acuerdo con la abundancia y grado de desarrollo de los ovocitos (Arellano-Martínez *et al.*, 2001). Se tuvo en cuenta la escala propuesta por Brown-Peterson *et al.* (2011) y la estandarización de términos de Lowerre-Barbieri *et al.* (2011) para la descripción del desarrollo reproductivo en peces. A partir de lo anterior, se determinaron organismos en las fases de inmadurez, desarrollo, capacidad de desove, regresión y regeneración (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción microscópica de las fases de desarrollo gonadal de *Paralabrax auroguttatus*. El desove activo hace referencia a una subfase dentro de la fase de capacidad de desove. Ovocito en crecimiento primario (Ocp), ovocitos cromatina nucléolo (Cn), ovocitos en perinúcleolo (Pn), ovocitos con alveolos corticales (Oac), inclusiones lipídicas (il) vitelogénesis (Vtg), folículos post-ovulatorios (FPO), espermatogonias (Eg), espermatocitos (Sc), espermatidas (Ep), espermatozoides (Ez), cisto o cripta (ci), epitelio germinal (GE).

Fase	Hembra	Macho
Inmaduro	Presencia de ovogonias, abundantes Ocp (Cn y Pn). Muy poco espacio entre los ovocitos, lamelas bien definidas, pared ovárica delgada.	Presencia de espermatogonias, no se evidencia un lumen definido en los lóbulos, ni un lumen en la gónada excepto si presenta característica bisexual, o pueden presentarse en lugar de lóbulos islotes testiculares bien definidos. Pared testicular delgada.
Desarrollo	Presencia de Ocp. Aparición y continuo aumento de Oac (lo cual indica que comienza y se está dando la maduración ovocitaria). Se nota el incremento de las il en los ovocitos. Pueden evidenciarse ovocitos en Vtg 1 y 2, no hay FPO y pueden presentarse algunas atresias. Es posible evidenciar una banda eosinofila alrededor del núcleo en el citoplasma, la cual contiene proteínas y es una señal al igual que los alvéolos corticales de que se ha iniciado el proceso de desarrollo.	Comienzo del desarrollo, presencia de Eg 1 y 2, abundantes Sc 1 y 2, se presentan Ep y Ez. Sin embargo, los Ez no se presentan en el lumen de los lóbulos, o no se evidencia abundante esperma en los ductos espermáticos. El GE es continuo a lo largo de la gónada. Los Ez se encuentran en los cistos.

Capacidad de desove	Se evidencian los ovocitos en maduración, Vtg 3, con la vesícula germinal en inicio de migración hacia el polo animal. Proteólisis. Incremento de grosor de la zona radiada en los ovocitos, pueden haber FPO, atresias y ovocitos hidratados. <u>El desove activo</u> (subfase), es el momento característico de la fase de capacidad de desove en donde se observa mayor abundancia de ovocitos hidratados (clave de inminente desove), algunos FPO y atresias.	Presencia de Eg 2, Sc 1 y 2, Ep y Ez. Ez en el lumen de los lóbulos, o esperma en los ductos y senos espermáticos en la periferia de la gónada (completamente llenos). Evidencia de quiasmas que es la señal del rompimiento de los cistos en camino hacia los senos espermáticos. GE puede ser continuo o discontinuo. <u>El desove activo</u> (subfase), es el momento característico de la fase de capacidad de desove, en la cual se identifica abundantes quiasmas, Ez en los senos espermáticos completamente llenos y expandidos, con el GE discontinuo (momento previo al inminente desove)
Regresión	Abundantes atresias y FPO. Presencia de algunos Oac y en Vtg. Pared ovárica gruesa y evidencia de espacio entre los ovocitos	Ez residuales en ductos y senos espermáticos, poca a nula actividad espermatogénica. GE discontinuo, apariencia de tejido desorganizado. Algunos Sc 2 y Ep.
Regeneración	Gónadas sexualmente maduras. Presencia de ovogonias, Ocp, atresias gamma/delta y paquetes musculares. Pueden verse FPO de diferentes tiempos. Pared ovárica gruesa.	Proliferación de Eg a lo largo del testículo. GE continuo con una apariencia desorganizada. Ez residuales y ocasionales. Se observa ocasionalmente un prototipo de lumen en los lóbulos. No hay Sc.

5. 4 Diagnóstico del patrón sexual

Se utilizó evidencia histológica para asignar el sexo, tomando en cuenta las estructuras específicas para machos o hembras, y en el caso de individuos que no correspondieron con esta clasificación, es decir, que presentaron simultáneamente estructuras de macho y hembra, se utilizaron los criterios que definen el hermafroditismo de acuerdo con Sadovy de Mitcheson & Liu (2008).

Para diagnosticar el patrón sexual: 1) se examinaron las preparaciones histológicas tomando en cuenta características morfológicas y aplicando criterios rigurosos que permitieron identificar funcionalidad (García-Díaz *et al.*, 2001; Sadovy & Domeier, 2005); 2) se analizó la proporción por sexos por estructura de talla, dado que las cabrillas que presentan distribución uniforme por intervalo de talla han sido documentadas gonocóricas, y la presencia de mayor cantidad de hembras en las menores tallas y de menor cantidad en mayores tallas es característico de peces protogínicos (Pondella *et al.*, 2001; Baca Hovey *et al.*, 2002; Freitas *et al.*, 2018) y 3) se comparó el diámetro de los ovocitos en crecimiento primario entre los organismos con hermafroditismo potencial y las hembras. Este último análisis toma en cuenta que el proceso de maduración ovocitario implica un incremento en el tamaño, en donde cada fase se caracteriza por presentar ovocitos de tamaño promedio específicos (Lucano-Ramírez *et al.*, 2001), por lo cual se eligieron los ovocitos en crecimiento primario, dado que fue la microestructura más avanzada de desarrollo presente en machos. De tal forma, se midieron 100 ovocitos de hembras y 100 de individuos con hermafroditismo potencial. El análisis histológico de las microestructuras se realizó con un microscopio vertical DM4B con cámara digital con software Leica DMC2900 y el programa Leica Application Suit (LAS) Hardware USB Dongle.

5. 5 Determinación de la proporción sexual

La proporción sexual mensual, por tallas y total se calculó dividiendo el número total de hembras entre el número total de machos. Para determinar si la proporción de sexos mensual, por tallas y total difirió de la proporción 1:1 se utilizó la prueba de

bondad de ajuste Chi cuadrada con factor de corrección de Yates (Zar 1996). La cual se expresa de la siguiente manera:

$$X^2 = \sum_{i=1}^k (O_i - E_i) / E_i$$

Dónde: O_i = proporción de hembras o machos observados y E_i = proporción de hembras o machos esperada.

5. 6 Ciclo reproductivo e índice gonadosomático

5.6.1 Ciclo reproductivo

Para establecer el ciclo reproductivo, se calcularon y graficaron las frecuencias relativas mensuales de cada fase de desarrollo gonádico (Tabla 1). Se tomó en cuenta como el inicio del ciclo para hembras la aparición e incremento de los alvéolos corticales en los ovocitos y la evidencia de espermatozoides en los lóbulos o islotes testiculares junto a pocas espermátidas y espermatozoides en machos, como indicadores de la fase de desarrollo.

5.6.2 Índice gonadosomático

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

$$IGS = (PG/PT) \times 100$$

Donde:

PG es el peso de la gónada y PT el peso total del organismo sin gónada.

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

5. 7 Talla de primera madurez sexual (L_{50})

La talla de primera madurez sexual (L_{50}), definida como la talla a la cual el 50% de los individuos están maduros sexualmente (Saborido-Rey, 2004), se obtuvo, para cada sexo, calculando las frecuencias relativas y acumuladas de los peces reproductivamente maduros (en fases de capacidad de desove, regresión y regeneración) por marca de clase. Los valores de las frecuencias se ajustaron a un modelo logístico ($y = a/(1+b \times \exp(-cx))$), con ayuda del programa CurveExpert 1.3, para obtener el valor puntual de la talla.

5. 8 Relación longitud-peso

Se analizó la relación longitud-peso para machos con y sin posible hermafroditismo y hembras, como un descriptor que aporta a la información del estado de salud de la población (crecimiento, estado nutricional y reproducción; Cifuentes *et al.*, 2012), mediante un modelo potencial:

$$PT = aLT^b$$

Donde PT es el peso total del organismo en gramos, LT la longitud total, a constante de regresión asociado al factor de condición y b el coeficiente de alometría (Froese, 2006).

Si $b=3$, significa que se mantiene la forma del individuo al crecer, crecimiento isométrico.

Si $b<3$, significa que los individuos incrementan su longitud relativa más que su peso, crecimiento alométrico negativo.

Si $b>3$, significa que los individuos de mayores tallas han incrementado su peso en mayor proporción que su longitud, crecimiento alométrico positivo.

Para determinar si el coeficiente de alometría fue diferente del parámetro de isometría se aplicó una prueba *t-Student* ($\alpha=0.05$)

$$t = (b - \beta) / Se$$

Donde b = coeficiente de alometría, β = parámetro de isometría y Se = error estándar de b (Zar, 1974).

5. 9 Análisis estadísticos

Se aplicaron pruebas t -Student para analizar si existían diferencias significativas en longitud, peso total y peso gónada entre machos y hembras, y entre machos y posibles hermafroditas; y para comparar el diámetro ovocitario entre hembras e individuos con potencial hermafroditismo. Se utilizaron análisis de varianza de una vía (ANDEVA) para examinar las variaciones mensuales del IGS. Cuando los ANDEVA detectaron un efecto estadísticamente significativo, se llevaron a cabo pruebas *a posteriori* de comparación múltiple (Duncan). Las variables expresadas como frecuencias (%) fueron transformadas con arcoseno para reducir la dependencia de la varianza de las muestras (Zar, 1996), pero se presentan como medias sin transformar. En todos los casos, se utilizó el programa STATISTICA versión 6.0 con un nivel de significación de 0.05.

6. RESULTADOS

6.1 Morfología gonadal

La morfología gonadal fue similar a la descrita para el género *Paralabrax* (Sadovy & Domeier 2005). Los ovarios presentan lamelas que se proyectan hacia el centro y forman un lumen. Los ovocitos se presentan en diferentes fases de desarrollo, característico del desarrollo gonadal asincrónico. Los testículos presentaron tejido testicular organizado en islotes, restringido y no restringido a lóbulos, así como cistos o criptas al interior, en las que el desarrollo espermatogénico se da de modo sincrónico.

6.1.1 Estructura del ovario y caracterización de la ovogénesis

El ovario está constituido, como ha sido identificado para peces teleósteos, por el epitelio germinal, la túnica albugínea o túnica ovárica (tejido conectivo), seguido por el córtex que contiene las ovogonias, ovocitos, y folículos, embebidos en el estroma (tejido conectivo, vascular y neural; Saborido-Rey, 2004). El desarrollo del tejido ovárico se genera dentro de un prototipo de proyecciones de epitelio germinal, denominadas lamelas, las cuales rodean una cavidad central interna llamada lumen, a la cual se liberan los ovocitos tras ser ovulados. Al interior del ovario se observaron ovocitos en diferentes estados de la ovogénesis, por lo que se determinó un desarrollo ovárico de tipo asincrónico.

En las diferentes fases del desarrollo gonadal de *P. auroguttatus* se identificaron las distintas etapas de la ovogénesis debido a la presencia de las microestructuras características de esta última (Figura 4): crecimiento primario (ovocitos cromatina nucléolo y en perinúcleolo), crecimiento secundario (ovocitos con la presencia de alveolos corticales e inclusiones lipídicas), vitelogénesis (1, 2), madurez (vitelogénesis 3, migración de la vesícula germinal, desaparición de la vesícula germinal, protolisis, hidratación). Asimismo, fue posible evidenciar el desove por los grandes espacios en el tejido, las cicatrices de desove y los folículos postovulatorios (Figura 4E). Los ovarios en regeneración se identificaron por la presencia de atresias, ovocitos en crecimiento primario, espacio entre los mismos y paquetes musculares (Figura 4F).

Crecimiento primario: Ovocitos, en el menor grado de desarrollo y del menor tamaño ($54.18 \mu\text{m} \pm 1.3 \text{ ES}$), organizados dentro de lámelas que van desde la periferia de la gónada hacia su interior formando un lumen. Se observan ovocitos de dos tipos, los primeros, denominados cromatina nucléolo, se caracterizan por presentar un nucléolo grande en el centro del núcleo y poco citoplasma; los segundos, presentan múltiples nucléolos que van migrando hacia la periferia del núcleo hasta ponerse en contacto con la envoltura nuclear, que según esta proximidad pueden ser llamados ovocitos en perinuécleo temprano o tardío (Figura 4A).

Crecimiento secundario: Es un estado previtelogénico, los ovocitos han incrementado su tamaño ($145.66 \mu\text{m} \pm 3.2 \text{ ES}$) y, además de su apariencia convencional, se caracteriza por la presencia de alvéolos corticales e inclusiones lipídicas. Aun se observa la presencia de nucléolos en la periferia del núcleo (Figura 4B).

Vitelogénesis: Los ovocitos son más grandes que en el estado anterior ($395.57 \mu\text{m} \pm 4.44 \text{ ES}$) y de forma circular. La zona radiada está engrosada. Se presentan gotas lipídicas que a medida que se fusionan forman el vitelo (vitelogénesis primaria). A medida que avanza la ovogénesis, esas gotas fusionadas constituyen vesículas vitelinas, posteriormente gránulos o glóbulos formando el vitelo secundario y se presentan algunas vesículas o gotas de grasa (triglicéridos) que se unen para formar las llamadas gotas de aceite (vitelogénesis secundaria; Figura 4C).

Madurez: Inicia con la vitelogénesis terciaria, en donde los ovocitos son de gran tamaño. Los glóbulos de vitelo se encuentran totalmente fusionados. Se observan gotas de aceite donde antes se posicionaba la vesícula germinal, la cual empieza a migrar hacia el polo animal. Posteriormente, ocurre la proteólisis y se da paso a la hidratación, en la cual se presenta el tamaño máximo de los ovocitos. Es muy difícil diferenciar las lamelas dado el gran tamaño de los ovocitos (Figura 4C, D).

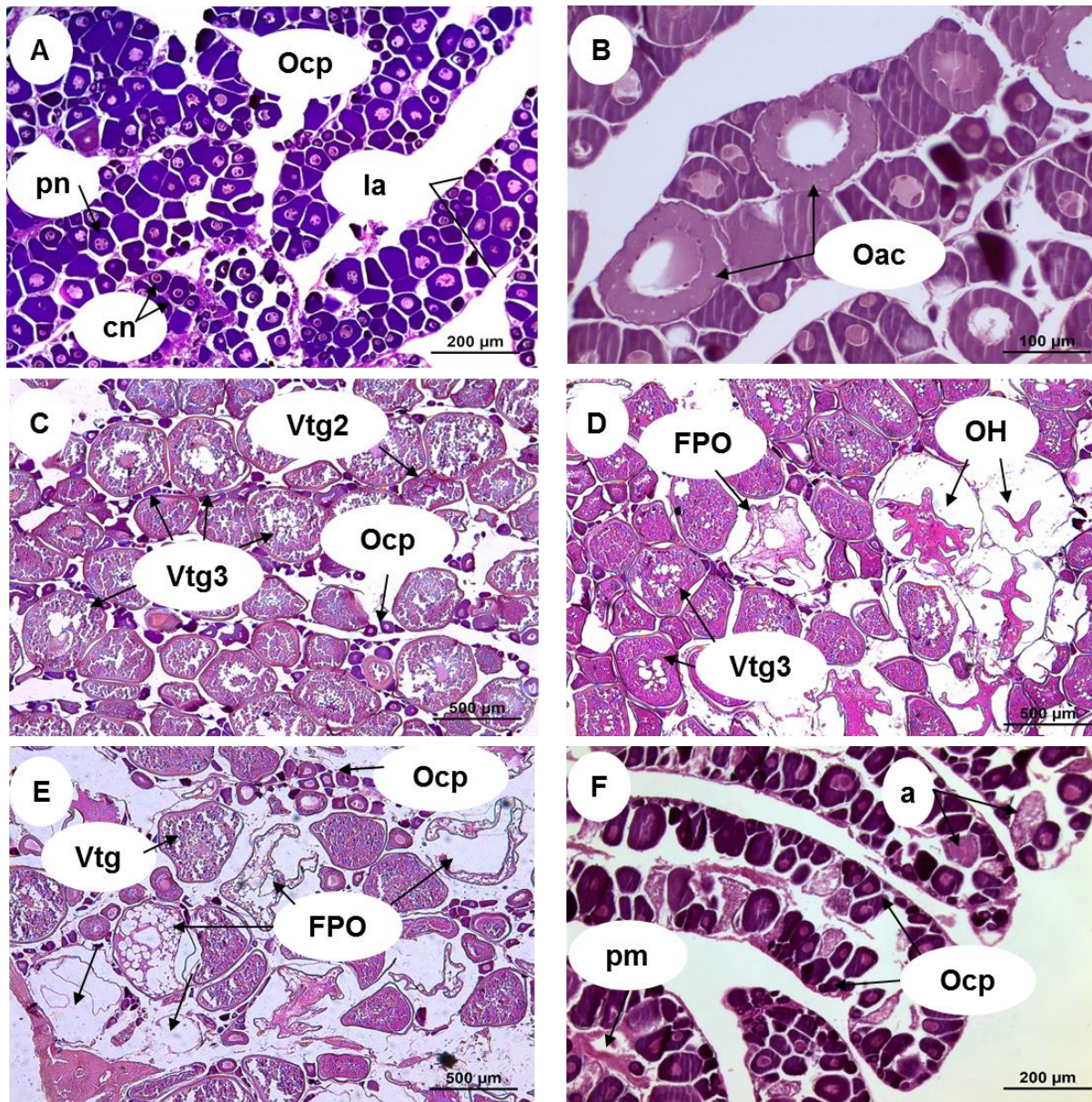


Figura 4. Microfotografía del ovario de *Paralabrax auroguttatus*. Fases de desarrollo gonadal. (A) Inmadurez. (B) Inicio de la fase de desarrollo. (C) Capacidad de desove. (D) Desove activo (subfase de capacidad de desove). (E) Regresión, en la gónada además de las estructuras características de la fase, se ven espacios que evidencian el desove representado con flechas en los espacios inferiores de la imagen. (F) Regeneración. Atresia (aA), ovocitos cromatina nucléolo (Cn), lamela (la), ovocitos en alveolo cortical (Oac), ovocitos en crecimiento primario (Ocp), ovocitos en perinucleolo (Pn), ovocitos en vitelogénesis (Vtg), folículo postovulatorio (FPO), ovocitos hidratados (OH), paquetes musculares (pm).

6.1.2. Estructura del testículo y caracterización de la espermatogénesis

El testículo presentó la invaginación del celoma en donde se desarrollan las células sexuales, en las criptas o cistos espermáticos, en forma de lóbulos restringidos con espermatogonias uniformemente distribuidas, lóbulos no restringidos con espermatogonias sin una organización aparente, e islotes testiculares (Figura 5B).

Dentro de los cistos, el desarrollo espermatogénico es sincrónico y se da desde la periferia hacia la parte central, empezando como espermatogonias hasta espermatozoides. Al momento en que los espermatozoides están completamente desarrollados, previo al momento de ser liberados a los túbulos colectores, se agrupan en la periferia del cisto ejerciendo presión, y rompiendo la estructura para llegar a los senos espermáticos (Figura 5C, D), los cuales se pueden observar en las microfotografías al estar totalmente llenos y expandidos la evidencia contundente del inminente desove.

Espermatogonias: Células de mayor tamaño identificadas en el tejido testicular, características en organismos inmaduros y en regeneración (diferenciados por la organización del tejido germinal y los espermatozoides residuales). Sin embargo, estas células permanecen en todas las fases del desarrollo gonadal, aunque en menores cantidades (Figura 5A, F).

Espermatocitos: Células ovaladas de menor tamaño que en la fase anterior. Pueden ser espermatocitos primarios o secundarios, según su tamaño y el de sus microestructuras (Figura 5A).

Espermátidas: Células pequeñas ovaladas, previas a la espermiogénesis (proceso de diferenciación en el cual se generan los espermatozoides). Se encuentran organizadas por paquetes dispuestos hacia el centro del cisto (Figura 5A).

Espermatozoides: Son las células sexuales diferenciadas, las cuales están organizadas en prototipo de paquetes cuando se encuentran en el lumen del cisto,

acumuladas en los túbulos colectores o senos espermáticos o libres residuales a lo largo del testículo. Presentan cabeza ovalada y un flagelo largo (Figura 5).

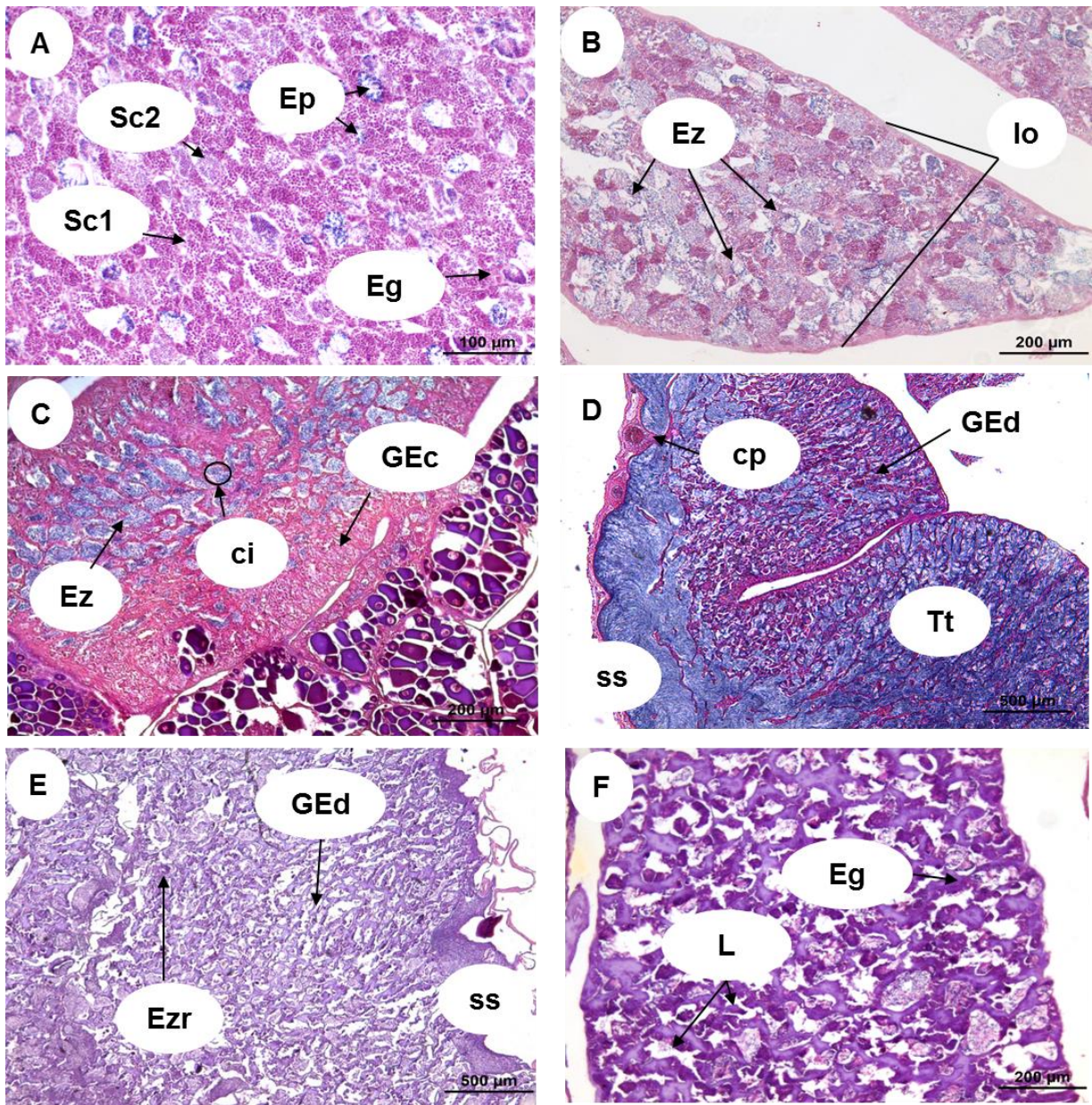


Figura 5. Microfotografía del testículo de *Paralabrax auroguttatus*. Fases de desarrollo gonadal. (A) Desarrollo temprano. (B) Desarrollo intermedio. (C) Desarrollo avanzado. (D) Capacidad de desove. (E) Regresión. (F) Regeneración. Cisto (ci), cuerpo pardo (cp), epitelio germinal continuo (GEc), epitelio germinal discontinuo (GEc), espermatogonias (Eg), espermatidas (Ep), espermatozoides (Ez), lumen del lóbulo (L), lóbulo (lo), seno espermático (ss).

6. 2 Patrón sexual

6.2.1 Morfología gonadal bisexual

Los organismos que presentaron una gónada con tejido testicular y ovárico simultáneamente se clasificaron como individuos bisexuales. En éstos, el tejido ovárico presentó únicamente ovocitos en crecimiento primario. Por su parte, el tejido testicular presentó todas las fases de la espermatogénesis, así como cistos y senos espermáticos llenos de esperma, lo cual confirmó la función reproductiva masculina. En todos los individuos bisexuales se observó la preservación del lumen como resultado de la proyección de las lamelas, los lóbulos e incluso los islotes testiculares que se proyectan desde la pared gonadal. Estos organismos bisexuales fueron catalogados como machos bisexuales y se encontraron tanto inmaduros como maduros.

La morfología gonádica de los machos inmaduros bisexuales evidenció islotes de tejido testicular inmaduro con espermátocitos, algunas espermátidas y espermatozoides, en igual proporción al tejido ovárico, el cual presentó ovocitos en crecimiento primario. (Figura 6A).

Por su parte, los machos maduros bisexuales presentaron microestructuras de espermatogénesis avanzada, y se encontraron en las fases de capacidad de desove, regresión y regeneración. En estos organismos se presentaron tres diferentes morfologías gonádicas en cuanto al desarrollo de los tejidos:

- a. *Con uno o dos islotes testiculares.* El tejido testicular se presenta en la gónada en un prototipo de islote o islotes testiculares, alrededor de éstos se encuentran los ovocitos en crecimiento primario en estructuras lamelares y se preserva un lumen en la gónada (Figura 6B, C).
- b. *Con tejido testicular lobular restringido.* El tejido testicular se presenta por toda la gónada, la cual está organizada en estructuras lobulares. Los espermatozoides se encuentran organizados en cistos bien definidos separados por tejido conectivo. Los ovocitos en crecimiento primario

acompañan todo el tejido espermático dentro de esos lóbulos y se observan como un prototipo de barrera, mientras que los espermatozoides se disponen hacia la periferia del cisto en el momento previo a dirigirse hacia los senos espermáticos para eyacular (Figura 6D).

- c. *Con tejido testicular lobular no restringido.* El tejido testicular se encuentra a lo largo de la gónada, con espermatogonias distribuidas por todo el tejido. Los cistos están unidos formando numerosos túbulos seminíferos, que se disponen irregularmente en forma de un prototipo de red que converge en el seno espermático en la periferia de la gónada. No se discriminan islotes, ni lóbulos testiculares. En la misma región de la gónada, se observa el tejido ovárico que mantiene su estructura general de lamelas proyectadas hacia al centro formando un lumen (Figura 6E).

También se identificaron ovocitos en crecimiento primario dispersos e inmersos en tejido testicular (Figura 6F), que no forman agrupaciones ni mantienen una estructura como la descrita en alguna de las tres morfologías testiculares nombradas anteriormente.

No se encontraron individuos en transición (cambio de sexo), ni hembras bisexuales en ninguno de los casos. Para la descripción del ciclo reproductivo los machos con y sin fase bisexual fueron considerados como machos funcionales (evidencia de espermatogénesis y consecuente desove).

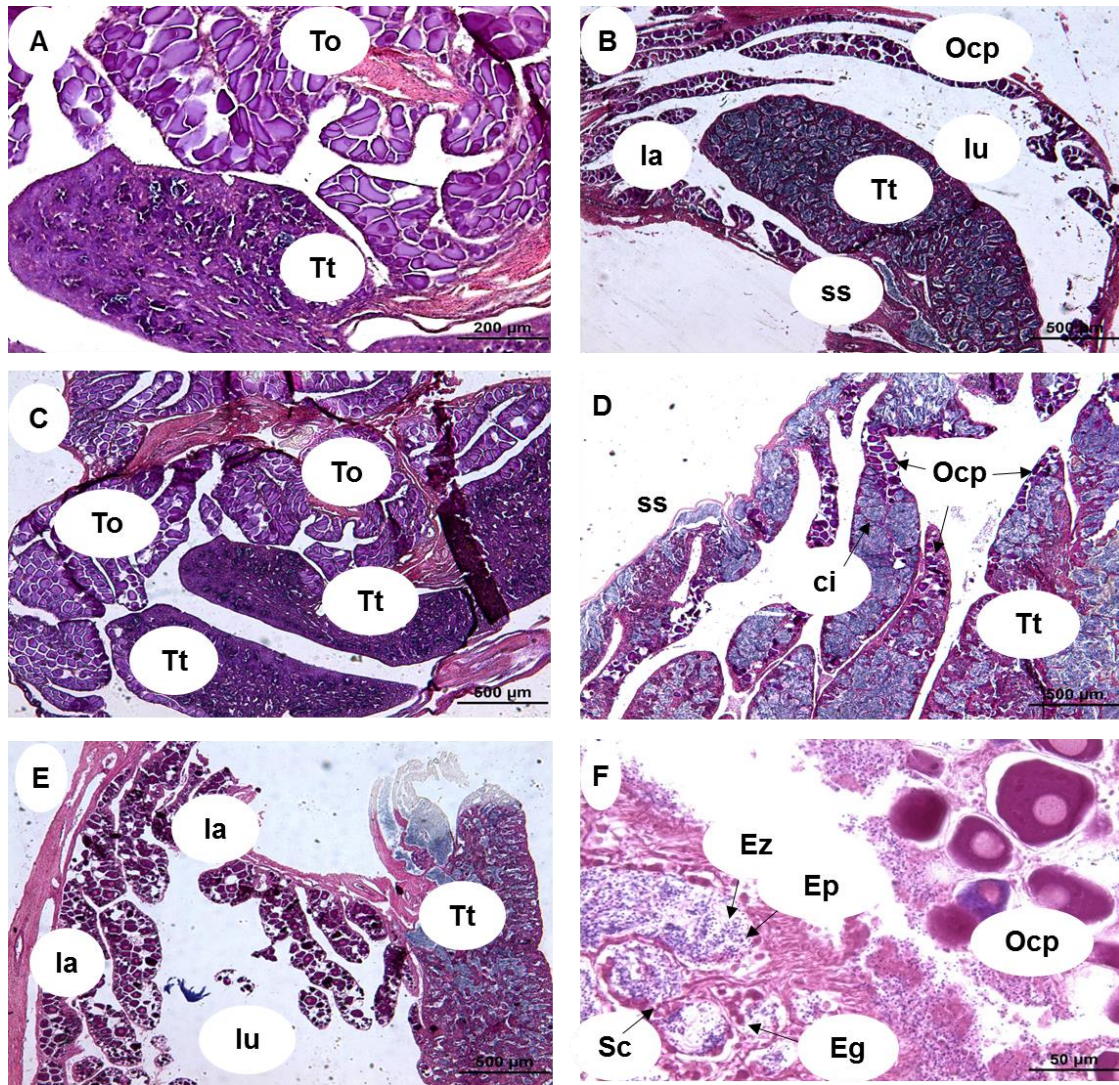


Figura 6. Gónadas de machos bisexuales de *Paralabrax auroguttatus* de la pesca artesanal de la zona norte del Golfo de California. (A) Macho inmaduro bisexual. (B) Macho maduro bisexual con un islote testicular. (C) Macho maduro bisexual con dos islotes testiculares. (D) Macho maduro bisexual con tejido testicular restringido. (E) Macho maduro bisexual con tejido testicular no restringido. (F) Tejido testicular con ovocitos previtelogénicos dispersos. Cisto(ci), espermátidas (Ep), espermatogonias (Eg), espermatozoides(Ez), lamela (la), lumen gonadal (lu), ovocitos en crecimiento primario (Ocp), seno espermático (ss), tejido ovárico (To), tejido testicular (Tt).

6.2.1 Comparación del diámetro de los ovocitos en crecimiento primario entre machos con fase bisexual y hembras

Al realizar la comparación entre el diámetro de los ovocitos en crecimiento primario de machos en fase bisexual ($49.86 \mu\text{m} \pm 1.05\text{ES}$) y hembras ($54.18 \mu\text{m} \pm 1.3$

ES), se encontró que éste fue significativamente menor para los machos bisexuales que para las hembras (t -test=2.595, p =0.009).

6.2.3 Estructura de tallas

Se obtuvo un total de 622 organismos, que midieron entre 23.3 y 59.5 cm de LT (media=37.2 cm $\pm$ 8.8 DE) y pesaron entre 104.7 y 3805 g de PT (797.2 g $\pm$ 652.1 DE). Microscópicamente se determinaron 295 hembras (47%) y 327 machos funcionales (machos con y sin fase bisexual) (53%). No se encontraron diferencias significativas de longitud total o peso total entre los sexos (Tabla 2).

Tabla 2. Longitud y peso de *Paralabrax auroguttatus* extraídos de la pesca artesanal de la zona norte del Golfo de California. Media $\pm$ Desviación estándar (Min-Max), el valor de la t de Student y su probabilidad.

	Machos funcionales	Hembras	t - Student	P
Longitud total (cm)	37.3 $\pm$ 8.9 (23.3 - 59.5)	37.2 $\pm$ 8.6 (24.1 - 58.4)	0.131	0.896
Peso total (g)	795.8 $\pm$ 658.5 (104.7 - 3805)	798.7 $\pm$ 645.9 (108.3 - 3090.7)	-0.055	0.955

De los 327 machos identificados, el 27% presento una fase bisexual, y se distribuyeron entre los intervalos de 23.3 – 39.2 cm de LT (Figura 7). Los machos que presentaron fase bisexual fueron más pequeños y livianos (29.7 cm $\pm$ 2.26 LT, 327.6 g $\pm$ 86.1 PT) que el resto de los machos (40.1 cm $\pm$ 8.88, 970.8 g $\pm$ 623.2) (t -test=10.94, p <0.05; t -test=8.72, p <0.05).

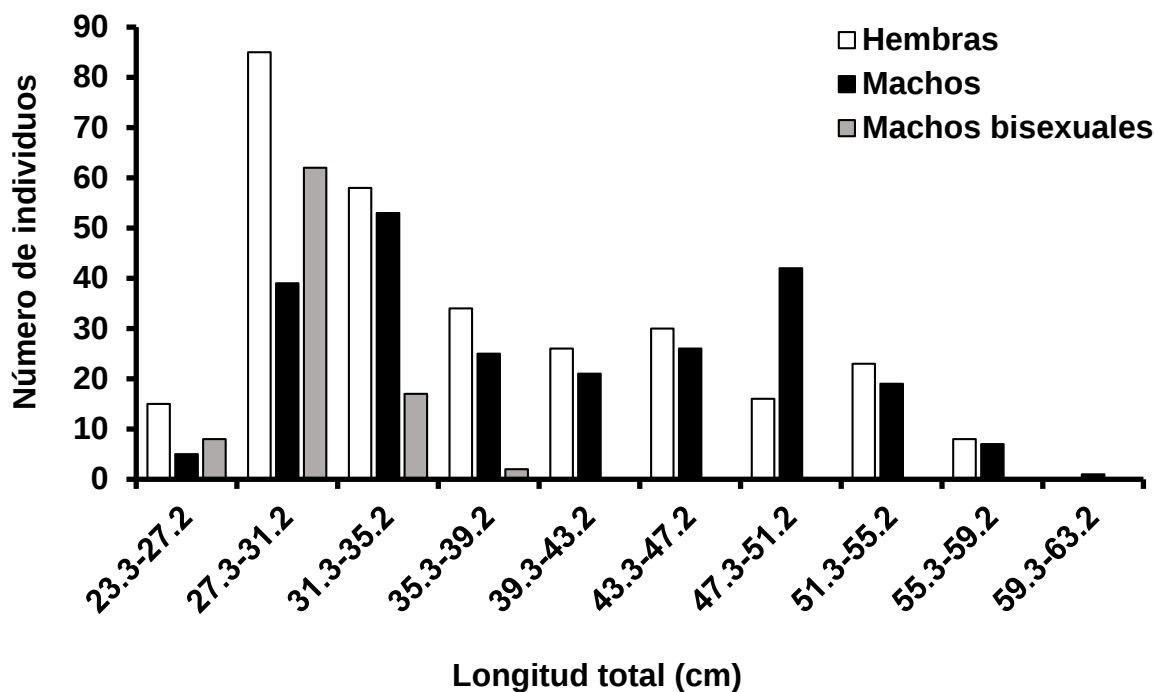


Figura 7. Número de individuos por intervalo de talla, de hembras, machos y machos bisexuales de *Paralabrax auroguttatus* extraídos de la pesca artesanal de la zona norte del Golfo de California.

6.3 Proporción sexual

6.3.1 Proporción sexual total y mensual

La proporción sexual total fue de 0.9H:1M (hembras:machos funcionales) y no fue significativamente diferente de la esperada 1:1 ($\chi^2=0.27$, $p=0.6$). Sin embargo, la proporción sexual por mes fue significativamente diferente ($p<0.05$) de la esperada en marzo de 2009 ($\chi^2=7.45$); enero ($\chi^2=11.12$), marzo ($\chi^2=0.29$), julio ($\chi^2=36.01$), septiembre ($\chi^2=4.01$), noviembre ($\chi^2=16.01$) y diciembre ($\chi^2=4.01$) de 2010; y enero ($\chi^2=16.01$), abril ($\chi^2=5.34$) y junio ($\chi^2=4.01$) de 2011 (Figura 8).

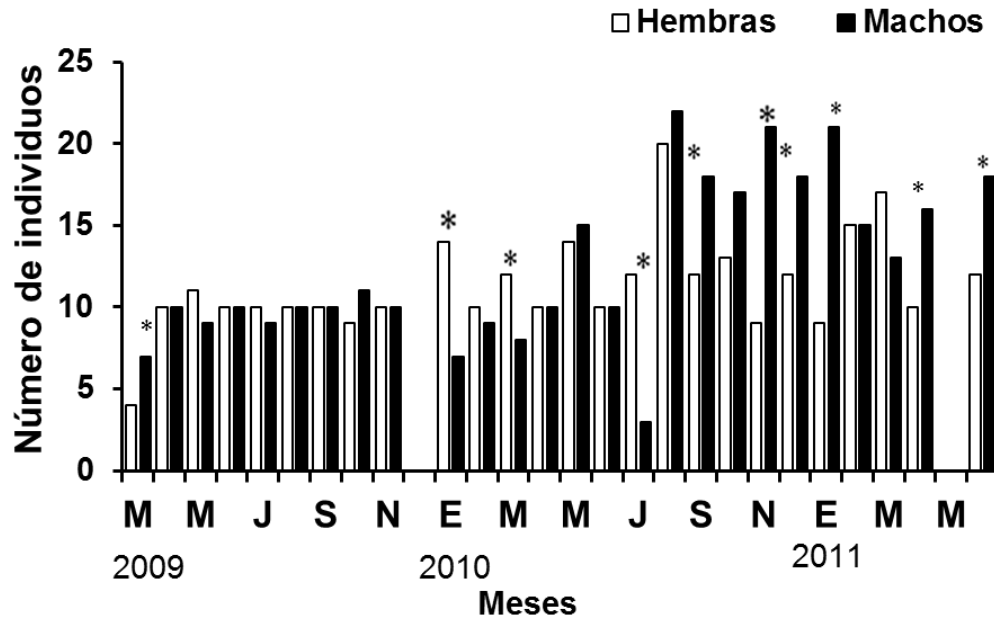


Figura 8. Proporción sexual mensual de *Paralabrax auroguttatus* extraídos de la pesca artesanal de la zona norte del Golfo de California. El asterisco (*) indica diferencias estadísticas significativas en la proporción de sexos.

6.3.2 Proporción sexual por talla

Respecto a la talla, únicamente se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la proporción sexual en los intervalos de 47.3-51.2 cm ($\chi^2 = 20.1$) y 59.3-63.2 ($\chi^2 = 100.01$; Figura 9). Para este análisis se incluyeron los machos bisexuales debido a que son funcionales.

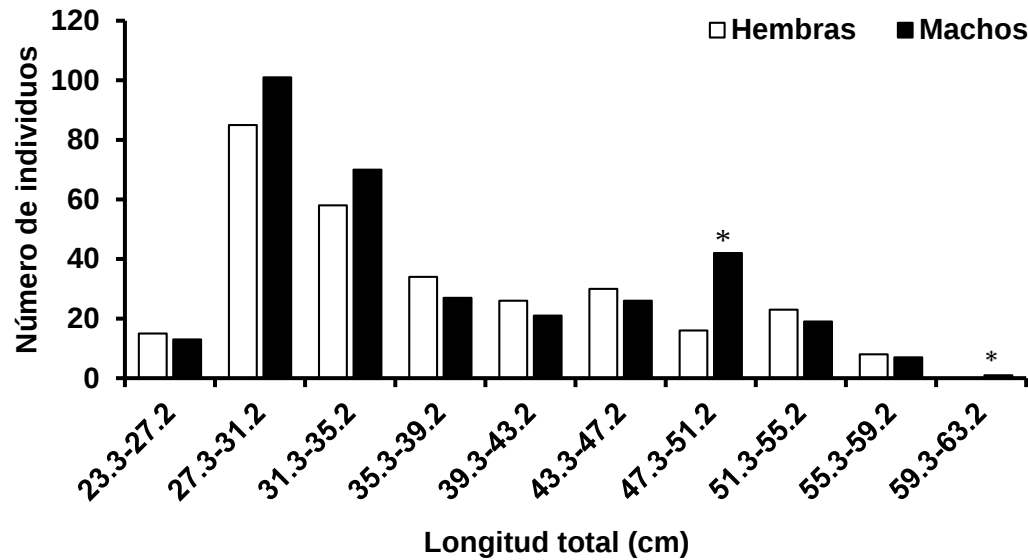


Figura 9. Proporción sexual por tallas de *Paralabrax auroguttatus* extraídos de la pesca artesanal de la zona norte del Golfo de California. El asterisco (*) indica diferencias estadísticas significativas en la proporción de sexo.

6. 4 Ciclo reproductivo e índice gonadosomático

6.4.1 Ciclo reproductivo

Las frecuencias de ocurrencias de las fases de desarrollo se presentan en la Figura 10. Del total de organismos identificados, el 97% de las hembras y el 98% de los machos funcionales se encontraron sexualmente maduros (adultos). En hembras, la fase de desarrollo, identificada como la etapa en la cual la gónada inicia su preparación para la temporada de desove, presentó las mayores frecuencias en noviembre de 2009 (40%), febrero (85%) y marzo de 2011 (>50%). En machos, las mayores frecuencias de desarrollo se observaron en noviembre de 2009 (>70%), enero (75%) y marzo (76%) de 2010, y enero de 2011 (45%). Por otro lado, se observó una prolongada temporada en la que machos y hembras son capaces de desovar, o ya desovaron (primera mitad del año), evidencian porcentajes superiores al 70% de las fases de capaz de desovar y regresión en marzo a junio de 2009, de febrero a junio de 2010, y en abril y junio (hembras) y de febrero a junio (machos) de 2011. La fase de regeneración, que se refiere a los organismos maduros, pero reproductivamente inactivos, se presentó en porcentajes de 70% a 100% de julio a octubre de 2009, de julio a diciembre de 2010 y enero de 2011 para hembras; de forma similar, en machos,

esta fase se presentó con valores >70% de abril a octubre de 2009, de julio a septiembre de 2010 y con porcentajes de 30% a 50% en octubre, diciembre de 2010 y enero de 2011.

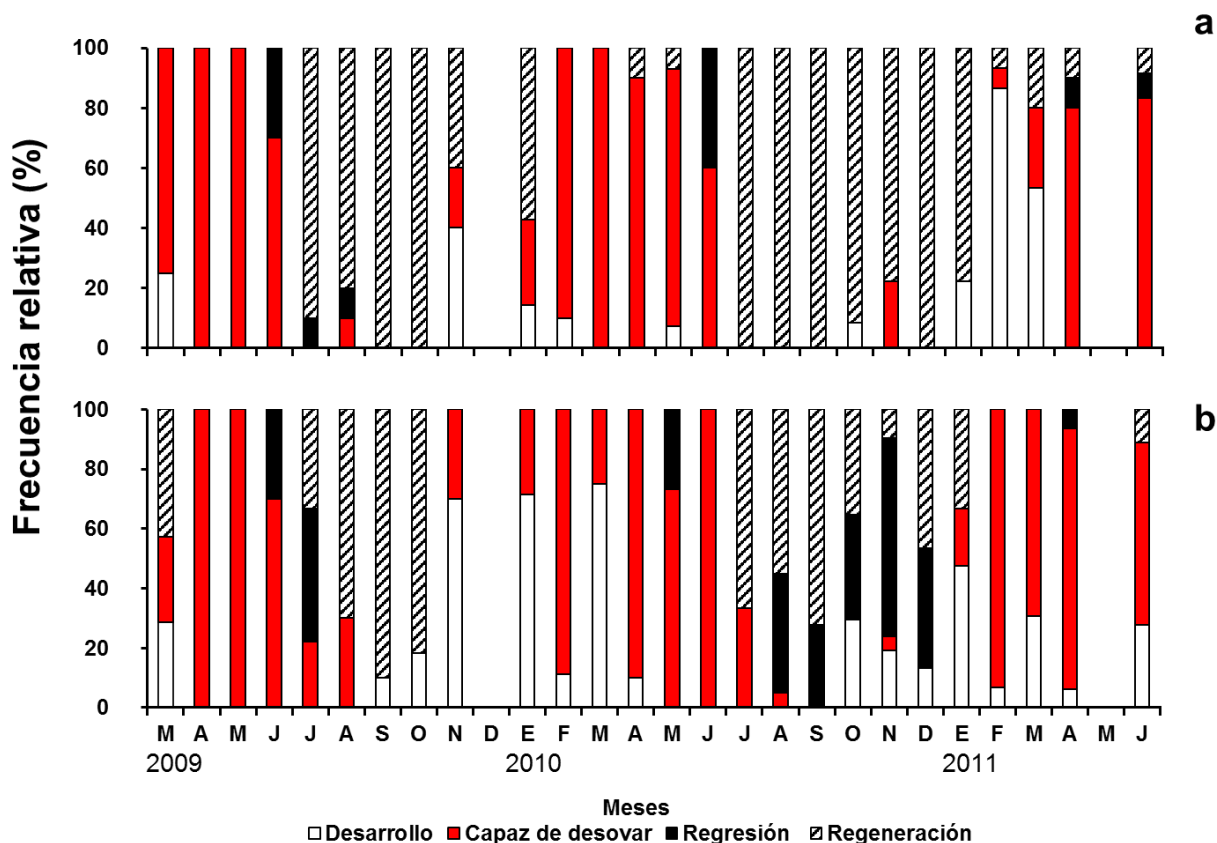


Figura 10. Ciclo reproductivo de (a) hembras y (b) machos funcionales de *Paralabrax auroguttatus* extraídos de la pesca artesanal de la zona norte del Golfo de California.

6.4.2 Índice gonadosomático

Los valores del IGS tanto de hembras como de machos presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los meses analizados (Figura 11). En las hembras, los valores promedio más altos del IGS se observaron en mayo de 2009 (4.31%), marzo de 2010 (6.66%) y abril de 2011 (4.58%). Mientras que, en machos, los mayores valores del IGS se presentaron en marzo de 2009 (1.2%), febrero (1.2%), marzo (1.6%) y mayo de 2010 (1.4%) y junio de 2011 (1%). En contraste, los valores promedio más bajos del IGS en hembras se presentaron en septiembre (1.11%) y octubre (1.10%) de 2009, con una tendencia similar en machos para los mismos meses (0.19% y 0.15%,

respectivamente); asimismo, se registró un lapso de valores bajos de julio a diciembre de 2010 tanto en hembras (0.25% a 0.4%) como en machos (0.3% a 0.16%).

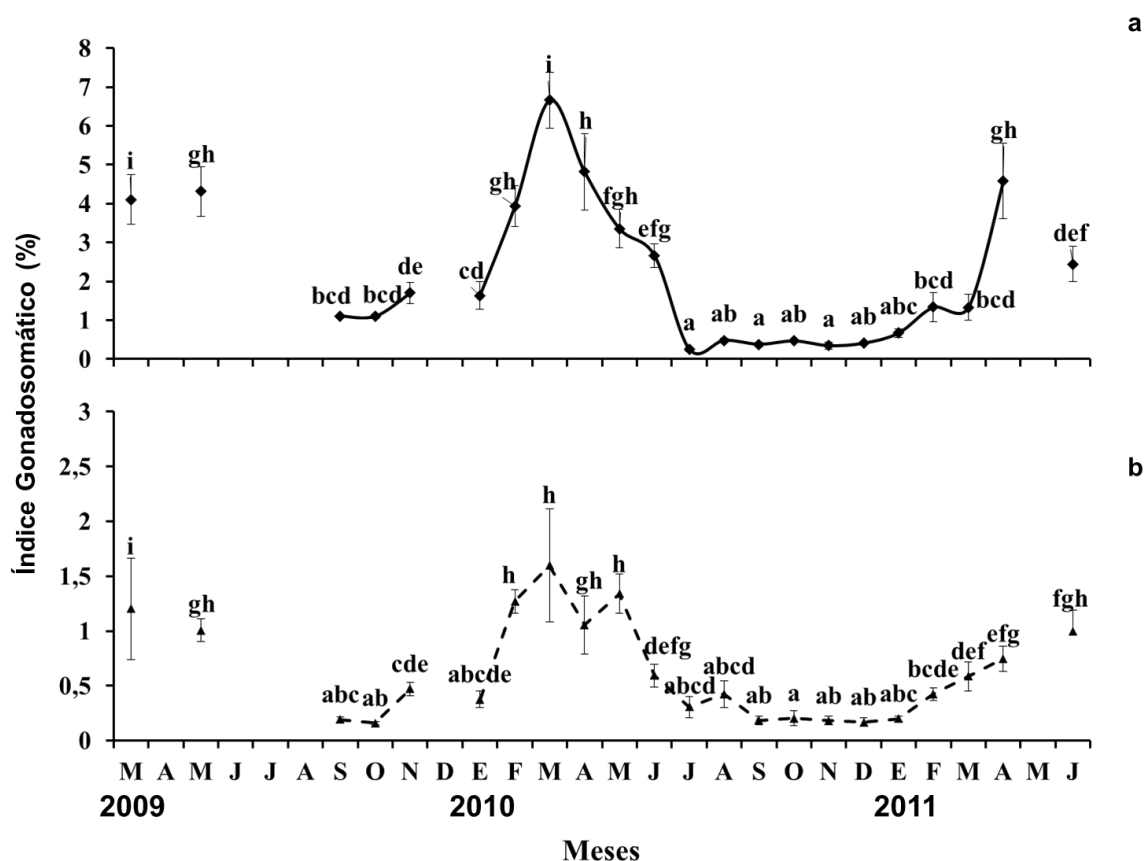


Figura 11. Variación mensual promedio (media $\pm$ error estándar) del índice gonadosomático de (a) hembras y (b) machos de *Paralabrax auroguttatus* extraídos de la pesca artesanal de la zona norte del Golfo de California. Las barras indican el error estándar. Las letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

6. 5 Talla de primera madurez sexual (L₅₀)

Se encontraron individuos maduros desde las tallas menores, 23.3 cm de LT para hembras y 26.5 cm de LT para machos. Los individuos inmaduros correspondieron al 1.5% de los machos y al 2.4% de las hembras, y la mayor talla registrada en esta categoría fue de 27 cm de LT (hembra). La talla de primera madurez (L₅₀) calculada para machos fue de 33.1 cm de LT y de 36.5 cm de LT para hembras (Figura 12).

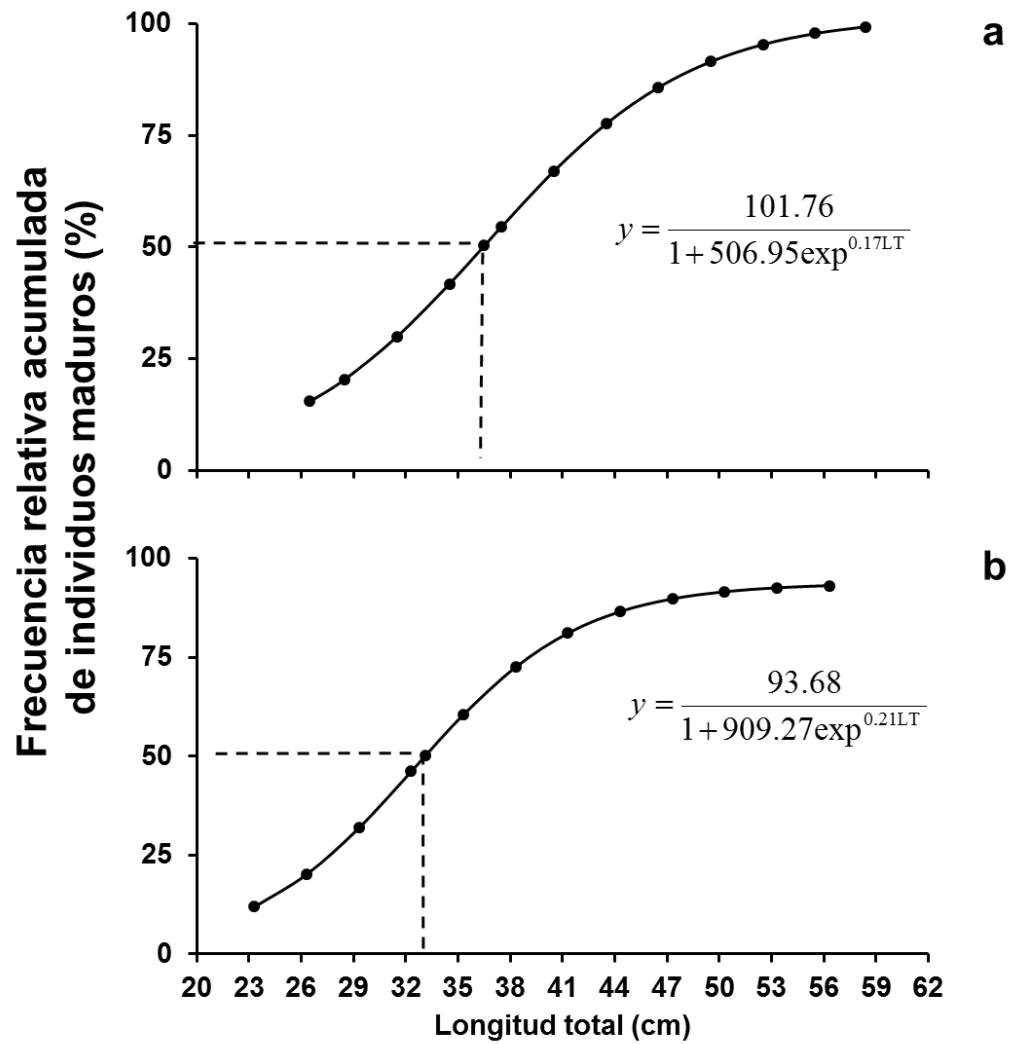


Figura 12. Talla de primera madurez de (a) hembras y (b) machos de *Paralabrax auroguttatus* extraídos de la pesca artesanal de la zona norte del Golfo de California. La línea punteada indica la longitud a la cual el 50% de los individuos se encuentran sexualmente maduros.

6. 6 Relación longitud-peso

El modelo potencial describe la relación longitud-peso de los individuos de *P. auroguttatus* para la zona norte del Golfo de California (Figura 13). Respecto al valor de las pendientes, este mostro que, los machos funcionales ($t=0.39$, $p>0.05$) no presentaron diferencias significativas en cuanto al parámetro de isometría, por lo que se consideraron con crecimiento isométrico ($b=3$), mientras que las hembras si fueron diferentes significativamente del coeficiente de alometría ($t=3.56$, $p<0.05$) ($b\neq 3$).

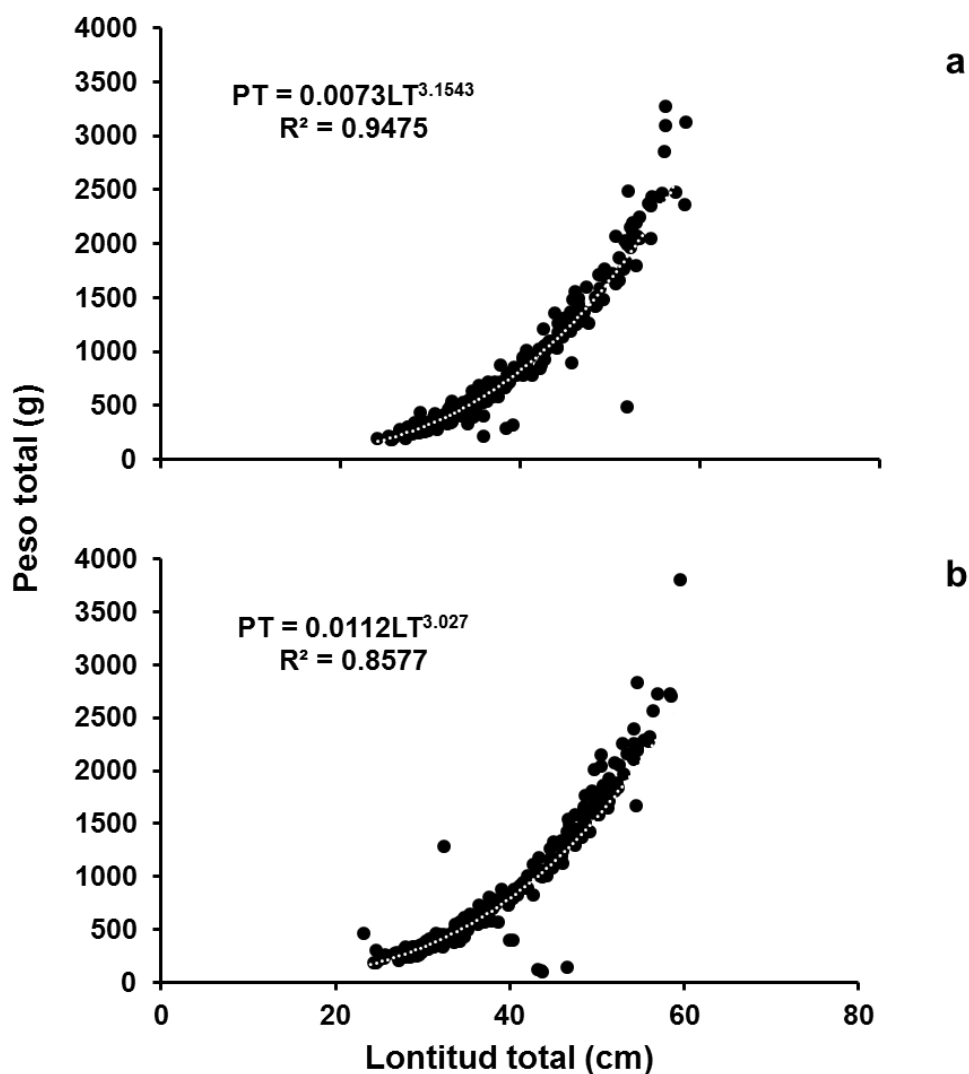


Figura 13. Relación longitud-peso de (a) hembras y (b) machos de *Paralabrax auroguttatus* extraídos de la pesca artesanal de la zona norte del Golfo de California.

7. DISCUSIÓN

A pesar de que la maduración es un proceso que presenta, en general, características similares para peces teleósteos, la apariencia y descripción de las fases que lo componen son específicas por especie (Brown-Peterson *et al.*, 2011).

Para la identificación de un posible hermafroditismo protogínico se tuvieron en cuenta diversas evidencias, como la búsqueda de organismos en transición. Estos no solo presentarían folículos post-ovulatorios, sino también tejido ovárico maduro con presencia de ovocitos vitelogénicos y atrésicos como resultado de una pasada función reproductiva femenina, al mismo tiempo que tejido espermático en todos los estados de la espermatogénesis, un lumen gonadal y senos espermáticos en la pared gonadal. Además, no se dejó de lado la talla, dado que el cambio de sexo es un proceso de desarrollo en el que las hembras requieren llegar a una talla y edad en particular para llevarlo a cabo (Sadovy & Shapiro, 1987; Baca Hovey *et al.*, 2002; Sadovy & Domeier, 2005; Sadovy de Mitcheson & Liu, 2008; Provost *et al.*, 2017). Sin embargo, a pesar del análisis minucioso (histológico y de estructura de talla), en este estudio no se identificó ningún individuo en transición hacia un cambio de sexo.

El tejido del sexo no funcional se preserva en individuos adultos, pero al contrario de lo documentado por Sadovy & Domier (2005), el tejido del sexo no funcional no disminuye con el incremento en tamaño, lo cual es fisiológicamente normal, dado que las células femeninas presentan mayor tamaño que las masculinas. Tampoco se identificó organismos en transición, lo cual es uno de los criterios fundamentales en la identificación de hermafroditismo protogínico.

Se encontró que, en machos funcionales con fase bisexual, el tejido masculino prolifera de tres diferentes formas. Una, ocurre dentro de islotes testiculares, mientras que el tejido ovárico se encuentra en la periferia de la gónada junto a los senos espermáticos tal como ha sido documentada para el género *Paralabrax* (Sadovy & Domeier, 2005). Otra, en la que el tejido reproductivo masculino se desarrolla dentro de lóbulos, como ha sido descrito en el desarrollo gonadal testicular en el género *Serranus* (García-Díaz *et al.*, 1997; Tutset *et al.*, 2005), pero no para el género

Paralabrax. La tercera, no documentada para la especie, pero si para éste género, en la que hay un desarrollo dentro de lamelas que son estructura más delgadas que los lóbulos y que se proyectan hacia el lumen, en donde procede el desarrollo espermatogénico completo dentro de cistos, los cuales al estar preparados para la eyaculación se disponen hacia la periferia, del mismo modo que se ha observado en las gónadas masculinas de *P. clathratus* y *P. nebulifer* (Smith & Young, 1966; Baca-Hovey *et al.*, 2002), e incluso en especies con hermafroditismo simultaneo como *S. atriacauda* (García-Díaz *et al.*, 2001) o *S. auriga* (Militelli & Rodríguez, 2011), en donde esto es evidencia de la función sexual masculina.

De igual forma, en los machos bisexuales no se observó la clara separación entre el tejido masculino y femenino, contrario a lo evidenciado por Sadovy & Domeier (2005). En los organismos analizados en este trabajo, se observó la presencia de lumen testicular, que sucede cuando los ovocitos cesan su desarrollo y los espermatocitos comienzan a proliferar dentro de los cistos, y una estructura gonádica que permaneció sin cambios en las tallas y en las fases, de modo que se conserva el lumen del ovario como una cavidad central en el testículo (Smith & Young, 1966). Asimismo, en los machos bisexuales, el tejido testicular va ocupando las lamelas lo cual abre la posibilidad de que *P. auroguttatus* sea un organismo gonocórico secundario, con un ancestro hermafrodita de tipo protogínico funcional. Esta hipótesis se apoya también en la reconstrucción filogenética del patrón sexual de la familia Serranidae, el cual indica que el ancestro común para estos peces fue un organismo protogínico (Hovey & Allen, 2000; Erisman *et al.*, 2013). Por otro lado, el carácter del cambio de sexo es muy flexible (Munday *et al.*, 2006) y, en serránidos, puede activarse por diversos factores: sociales en *Epinephelus coioides* (Liu & Sadovy de Mitcheson, 2011); latitudinales en *Paralabrax maculatofasciatus*, la cual ha sido documentada como protogínica y gonocórica en latitudes altas mientras que en latitudes medias como gonocórica (Hastings, 1989; Hovey & Allen, 2000; Alcántar-Vásquez *et al.*, 2008) y térmicos en *P. maculatofasciatus*, *P. nebulifer* y *P. clathratus* (Avilés-Quevedo, 2005; Sadovy-Domeier, 2005; Estrada-Godínez *et al.*, 2011). Además, sin dejar de lado la

posible influencia antropogénica como la pesca y la contaminación (Enberg *et al.*, 2010).

Por otro lado, las agrupaciones de ovocitos previtelogénicos identificadas en los machos bisexuales se encontraron en menor cantidad que cuando se presenta la fase bisexual dispersas e inmersas en tejido testicular. Esto pudiera ser un evento ocasional y no indicar nada sobre una pasada o futura función reproductiva (Sadovy & Domeier, 2005) o pudieran ser ovocitos en crecimiento primario residuales de un individuo en transición (Brown-Peterson *et al.*, 2011). Sin embargo, en cualquiera de los casos, es indispensable revisar toda la gónada, aplicando criterios rigurosos en la identificación de posibles organismos hermafroditas, dado que las estructuras deben evidenciar función. En este sentido, *P. maculatofasciatus* ha sido descrita como hermafrodita por la presencia simultánea de tejido espermático y ovárico en la gónada (Hastings, 1989); sin embargo, no se tomó en consideración el desarrollo gametogénico de estos tejidos, los cuales deben evidenciar estadios avanzados de madurez (capaz de desovar y regresión) para respaldar una posible funcionalidad en ambos sexos (Sadovy & Domeier, 2005). Además, no se debe dejar de lado que estos caracteres también pueden reflejar un carácter fisiológico retenido de una pasada función reproductiva como se ha evidenciado en *P. nebulifer* (Baca Hovey *et al.*, 2002) o la potencialidad de cambio de sexo (Brown-Peterson *et al.*, 2011), dado la plasticidad evidenciada en especies de peces teleósteos y en especial de la familia Serranidae, acompañado por el análisis de la estructura de la población (Erisman *et al.*, 2008), no solo en cuanto a la proporción de individuos por talla, sino además su comportamiento, o condiciones propias del lugar que habitan. El tejido del sexo no funcional se preserva en individuos adultos, pero al contrario de lo documentado por Sadovy & Domeier (2005), el tejido del sexo no funcional no disminuye con el incremento en tamaño, lo cual es fisiológicamente normal, dado que las células femeninas presentan mayor tamaño que las masculinas.

Asimismo, en este estudio no se identificaron hembras bisexuales, en contraste con lo reportado por Sadovy & Domeier (2005). En todos los casos (machos

bisexuales) se presentaron únicamente ovocitos en crecimiento primario y no se evidenciaron ovocitos vitelogénicos, ni en degeneración. Por lo que no se estableció la posible función reproductiva como hembra.

Como elemento adicional, en la microestructura gonadal, el carácter que comparten los machos con fase bisexual con las hembras son los ovocitos en crecimiento primario, los cuales aportan elementos para la determinación de gonocorismo, ya que el diámetro de los ovocitos es significativamente menor en los machos bisexuales, evidenciando que no existe un desarrollo ovocitario y que estos individuos no se reproducirán como hembras (Sadovy & Shapiro 1987; Sadovy de Mitcheson & Min, 2008).

Adicional a la evidencia histológica, la estructura de tallas, similar entre machos y hembras de la población *P. auroguttatus* en el norte del Golfo de California, así como la distribución uniforme de la proporción sexual de individuos por intervalos de talla, sugieren un patrón sexual gonocórico; lo mismo fue reportado por Pondella *et al.* (2001) para la especie en Islas Encantadas y Bahía de los Ángeles. En contraste para las especies protogínicas, los machos son más grandes que las hembras (Smith & Young, 1966; Baca Hovey *et al.*, 2002; Aburto-Oropeza *et al.*, 2008; Erisman *et al.*, 2010 Freitas *et al.*, 2018).

En lo que respecta a la proporción sexual mensual, ésta difirió significativamente de la proporción 1:1 de septiembre a diciembre de 2010. Esto pudo ser un efecto de la selectividad de las dos artes utilizadas en la pesca artesanal, de la cual provienen las muestras (trampa y piola). Con trampa son capturados indiscriminadamente hembras y machos de menor tamaño que los capturados con piola, y con ésta última, son más afectados los machos, dado que suelen ser más agresivos en la defensa de su harén y en consecuencia más capturados (Provost & Jensen, 2015). Sin embargo, en este estudio a pesar de que las muestras proceden de la pesca artesanal, no se obtuvo la información de en qué momento se utiliza uno u otro arte.

La pesca no es una causa aislada del cambio sexual y, por lo tanto, deben analizarse diversos factores relacionados con ella, como la dinámica poblacional, la temporada, el lugar, entre otros (Enberg *et al.*, 2010). La pesca puede disparar el cambio en la estructura (mayor cantidad de machos o de hembras) y, dependiendo del grupo, afecta de modo distinto a las especies protogínicas y protándricas. Por ejemplo, puede disminuir la talla de madurez sexual, tanto en machos como en hembras de toda la población en el tiempo, o puede afectar a solo un grupo (Provost & Jensen, 2015). En el Golfo de California el efecto de la pesca sobre especies que presentan agregaciones reproductivas como *Mycteroperca jordani*, *M. rosacéa*, puede condicionar que se tengan hasta 40 hembras por un macho (Aburto-Oropeza *et al.*, 2015). Por tanto, el potencial hermafroditismo protogínico que presenta la cabrilla extranjera puede manifestarse por el efecto de diversos factores, tales como: la temperatura, latitud, comportamiento y cambios en la proporción sexual por efecto de la selectividad de los artes de pesca.

En cuanto a la cantidad de machos y hembras, se mantiene la proporción 1:1 en el 80% de los intervalos de talla. Similar a lo observado en *P. albomaculatus* para la cual no fueron significativas las diferencias en la proporción sexual (Salinas-de-León *et al.*, 2007). Los resultados obtenidos a partir del análisis de la microestructura gonadal, medición de diámetros de ovocitos, proporción sexual y estructura de tallas, en comparación con los resultados encontrados por Sadovy & Domeier (2005) y las investigaciones de Serránidos, generan evidencia suficiente para afirmar que en la zona norte del Golfo de California *P. auroguttatus* presenta un patrón sexual de tipo gonocórico con potencial hermafrodita protogínico.

En el ciclo reproductivo, no se incluye la fase de inmadurez debido a que ésta es un indicativo de inactividad, aunque haya una diferenciación celular, de modo que la fase de desarrollo es el indicador de que los ovocitos se están preparando para el desove (Brown-Peterson *et al.*, 2011; Freitas *et al.*, 2018). La evidencia histológica en cuanto al porcentaje de las frecuencias de las fases de maduración gonádica, en conjunto con la variación mensual del IGS, sugieren que la especie, al menos en el

norte del Golfo de California, presenta una amplia época reproductiva (enero a junio) seguido por un periodo de reposo (julio a enero). Asimismo, el mayor incremento en el índice gonadosomático tanto para hembras como para machos se presentó de marzo a mayo, periodo reportado anteriormente por Aburto-Oropeza *et al.* (2008) no solo como reproductivo, sino de mayor pesca para la zona de Bahía de los Ángeles, lo cual podría sugerir un efecto de disminución de la población reproductora.

P. auroguttatus también presenta una época reproductiva que se da en el primer semestre del año, similar a otras especies del género para el Golfo de California. Por ejemplo, *P. maculatofasciatus* presenta una época reproductiva de enero a mayo (Alcántar-Vásquez *et al.*, 2008), mientras que especies como *P. albomaculatus* que se encuentra en Isla Galápagos, el trópico, se da entre noviembre y enero, aunque se puede extender de octubre a marzo (Salinas-de-León *et al.*, 2017).

En lo que respecta a la talla de primera madurez sexual (L_{50}) obtenida en este estudio (33.1 cm LT para machos y 36.5 cm LT para hembras), ésta es mayor a la reportada por Aburto-Oropeza *et al.* (2008) (25 cm LT) y similar a la reportada por Álvarez-Flores (2013) de 33.4 cm LT. Sin embargo, para tener una mayor certeza, es necesario incrementar el intervalo de tallas donde se incluyan individuos juveniles que son de menores tamaños, los cuales se encuentran principalmente en zonas someras (Aburto-Oropeza *et al.*, 2008) donde la pesca artesanal no realiza capturas para esta especie, por tanto, sería adecuado realizar un muestreo dirigido para su obtención. Caso similar al estudio realizado de *P. albomaculatus* en donde no obtuvieron muestras de individuos juveniles dado que estos pueden ocupar otros hábitats y no se van a encontrar en los mismos que los adultos (Salinas-de-León *et al.*, 2017). Por otro lado, no se puede evadir el hecho de que diferentes cohortes pueden crecer a diferentes velocidades por cambios en el ambiente, disponibilidad de alimento, entre otras, que pueden a su vez incrementar o disminuir la competencia (Saborido-Rey, 2004).

Finalmente, el análisis de la relación longitud-peso evidencia que los machos de *P. auroguttatus* presentan crecimiento isométrico, en el que los individuos mantienen las proporciones al crecer (Froese, 2006). Mientras que, para hembras, aunque se estimó un valor de $b=3.1$ ($P<0.05$), se consideró crecimiento isométrico ya que el valor de b fluctuó entre 2.5 y 3.5 (Cifuentes *et al.*, 2012). A demás valores de b diferentes a 3, podrían considerarse normales, dado que las hembras presentan un mayor peso en las gónadas que los machos; estas desproporcionalidades entre el incremento de peso y talla del individuo pueden estar relacionadas con factores ambientales (temperatura) y antropogénicos (pesca) (Elías & Coello, 2016).

8. CONCLUSIONES

- Con base en la caracterización histológica de machos, machos bisexuales y hembras, la proporción por sexos uniformemente distribuida por intervalo de talla, la estructura de talla y peso similar entre machos y hembras, y el diámetro de los ovocitos significativamente menor en los machos bisexuales respecto a las hembras, se define a la cabrilla extranjera *P. auroguttatus* como una especie gonocórica con fase bisexual en el norte del Golfo de California.
- La conservación de los caracteres morfológicos microscópicos femeninos en la estructura gonadal a pesar de la evidente función masculina, muestra la potencialidad de la gónada a la reversión sexual, hermafroditismo de tipo protogínico que puede ser apreciado al variar en latitud, factores ambientales, antropogénicos, o un posible antepasado hermafrodita.
- La actividad reproductiva de machos y hembras refleja una sincronía reproductiva en *P. auroguttatus* en el norte del Golfo de California. Mientras que la presencia de ovocitos en diferentes fases de desarrollo muestra un ovario asincrónico que puede desovar varias veces durante una temporada reproductiva.
- La época reproductiva reportada por este estudio aunado a la revisión bibliográfica indica un posible efecto sobre la población reproductora (adultos maduros), dado que es el periodo de donde proceden la mayor parte de las capturas.
- La talla de primera madurez sexual (L_{50}) reportada en el presente estudio es similar a la reportada por informes pequeros actuales para la zona, información basada en caracterización biológica reproductiva que puede ser utilizada para el establecimiento de una talla mínima de captura con la que se afecte en la menor medida posible la población reproductora.

9. RECOMENDACIONES

Para complementar el conocimiento de la biología reproductiva de *Paralabrax auroguttatus* de la zona norte del Golfo de California, se recomienda:

- Llevar a cabo análisis de índices hepatosomáticos y de factor de condición para tener conocimiento del estado físico del pez en relación a su desarrollo.
- Evaluar la fecundidad con el objetivo de saber cuál es la potencialidad del recurso en cuanto a la cantidad de huevos por desove, por hembra, y por año, información fundamental en el manejo del recurso.

Por otro lado, es importante hacer énfasis en que, al implementarse métodos histológicos para determinar patrón sexual y época reproductiva, se requiere tener especial cuidado con los criterios utilizados en la designación de estructuras que son la evidencia de procesos fisiológicos. También, estos criterios deben ser relacionados con datos morfométricos, aspectos etológicos y factores ambientales que permitan comprender los procesos analizados.

10. LITERATURA CITADA

- Aburto-Oropeza, O., B. Erisman, C. Valdez-Ornelas & G. Danemann. 2008. Serránidos de Importancia Comercial del Golfo de California: Ecología, Pesquerías y Conservación. *Ciencia y Conservación* 2008 (1):1-23 p.
- Alcántar-Vázquez, J., S. Dumas, E. Puente-Carreón, H. Pliego-Cortés & R. Peña. 2008. Induction of triploidy in spotted sand bass (*Paralabrax maculatofasciatus* Steindachner, 1868) by cold shock. *Aquaculture Research*, 39: 59-63.
- Álvarez-Flores. 2013. Estado actual de la pesquería de cabrilla extranjera, *Paralabrax auroguttatus*, en la región de Bahía de los Ángeles, B.C. México. Pronatura Noroeste ac. 27 p.
- Alonso-Fernández, A. & F. Saborido-Rey. 2011. Influencia maternal en la variación del ciclo reproductivo de *Trisopterus luscus* (Gadidae). *Cienc. Mar.*, 37(4b): 619-632.
- Arellano-Martínez M, Rojas-Herrera A, García-Domínguez F, Ceballos-Vázquez BP, & Villalejo-Fuerte M. 2001. Ciclo reproductivo del pargo lunarejo *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869) en las costas de Guerrero, México”, *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 36: 1–8.
- Arellano-Martínez, M., Ceballos-Vásquez, B., Hernández-Olalde, L. & Galván-Magaña, F. 2006. Fecundidad del ángel de Cortés *Pomacanthus zonipectus* (Teleostei: Pomacanthidae) en la Isla Espíritu Santo, Golfo de California, México, *Ciencias Marinas*, 32 (1): 65-71.
- Avendaño-Ibarra, R., Hernández-Rivas, M. & Silva-Dávila, R. 2009. Reproductive Strategies of Sea Basses based on Larval Abundance in Magdalena Bay, México, 1982-1986, *North America Journal of Fisheries Management*, 29 (1): 205-215.
- Avilés-Quevedo, M. 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, 199 p.
- Baca Hovey, C., Allen, L., & Hovey, T. 2002. The reproductive pattern of barred sand bass (*Paralabrax nebulifer*) from southern california, *CalCOFI Rep*, 43:174-181.
- Bahamonde, P. A., Munkittrick, K. R., Christopher, J. & Martyniuk. 2013. Intersex in teleost fish: ¿Are we distinguishing endocrine disruption from natural phenomena?, *General and Comparative Endocrinology*, 192:25-35.

- Bone, Q. & Moore, R. 2008. Biology of fishes. USA. Taylor & Francis Group. 497 p.
- Brown-Peterson, N. J., D. M. Wyanski, F. Saborido-Rey, B. J. Macewicz, and S. K. Lowerre-Barbieri. 2011. A standardized terminology for describing reproductive development in fishes. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science*, 3:52–70.
- Butler, E., Childs, A., Winkler, A., Milner, M., & Potts, W. 2018. Evidence for protandry in *Polydactylus quadrifilis* in the Kwanza Estuary, Angola, and its implications for local fisheries, *Environ. Biol. Fish.*, 101:301–313.
- Cifuentes R., J. Gonzáles, G. Montoya, A. Jara, N. Ortiz, P. Piedra & E. Habit. 2012. Weith-length relationships and condition factor of native fish from San Pedro River (Valdivia River basin, Chile). *Gayana Especial*, 72 (2): 101-110.
- Cooper W.T., L. Barbieri, M.D. Murphy & S. Lowerre-Barbieri. 2013. Assessing stock reproductive potential in species with indeterminate fecundity: Effects of age truncation and size-dependent reproductive timing. *Fish. Res.*, 138: 31-41.
- Cordes, J. & Allen, L. 1997. Estimates of Age, Growth, and Settlement from Otoliths of Young-of-the-Year Kelp Bass (*Paralabrax clathratus*). Bull. Southern California Acad. Sci. 96(2), pp. 43-60.
- Csirke, J. 1980. Introducción a la dinámica de poblaciones de peces. FAO Doc. Tec. Pesca., 192: 82 p.
- Curtis, H., N. S. Barnes, A. Schnek & G. Flores. 2001. Biología. 6ª Ed. Editorial Médica Panamericana, España. 1496 p.
- Devlin, R., & Nagahama, Y. 2002. Sex determination and sex differentiation in fish: an overview of genetic, physiological, and environmental influences, *Aquaculture*, 208:191–364.
- Danemann G & Ezcurra E. 2008. Bahía de los Ángeles: Recursos naturales y comunidad, Línea base 2007. Pronatura Noroeste AC, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, San Diego Natural History Museum, México, 741 p.
- Elías, E. & D. Coello. 2016. Reproducción y estructura poblacional de Perela (*Paralabrax* spp.) en el estuario exterior del Golfo de Guayaquil, Ecuador. *Rev. Cient. Nat. Ambien.*, 10(2): 69-75.

- Enberg, K., Jorgensen, C. & Mangel, M. 2010. Fishing-induced evolution and changing reproductive ecology of fish: the evolution of steepness, *Can. J. Fish. Aquat.*, 67: 1708-1719.
- Erisman, B. & L. Allen. 2006. Reproductive behavior of a temperate serranid fish, *Paralabrax clathratus* (Girard), from Santa Catalina Island, California, U.S.A. *Journal of Fish Biology*, 68: 157-184.
- Erisman, B.E., Buckhorn, M.L. & Hastings, P.A. 2007. Spawning patterns in the leopard grouper, *Mycteroperca rosacea*, in comparison with other aggregating groupers. *Mar. Biol.*, 151: 1849–1861.
- Erisman B, Rosales-Casián J & Hastings P. 2008. Evidence of gonochorism in a grouper, *Mycteroperca rosacea*, from the Gulf of California, México. *Environ. Biol. Fish.*, 82:23-33.
- Erisman, B., Mascarenas, I., Paredes, G., Sadovy de Mitcheson, Y., Aburto-Oropeza, O. & Hastings, P. 2010. Seasonal, annual, and long-term trends in commercial fisheries for aggregating reef fishes in the Gulf of California, Mexico. *Fisheries Research*, 106:279–288.
- Erisman, B., C. W. Petersen, P. A. Hastings & R. R. Warner. 2013. Phylogenetic Perspectives on the Evolution of Functional Hermaphroditism in Teleost Fishes. *Integrative and Comparative Biology*, 53 (4): 736-754.
- Escalante, F., J. E. Valdez-Holguín, S. Álvarez-Borrego & J. R. Lara-Lara. 2013. Temporal and spatial variation of sea surface temperature, chlorophyll a, and primary productivity in the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 39(2): 203-215.
- Estrada, F. E. & M. C. Uribe A. 2002. Atlas de histología de vertebrados. UNAM, 222 p.
- Estrada-Godínez J, Maldonado-García M, Gracia-López V & Carrillo M. 2011. “Reproductive cycle of the leopard grouper *Mycteroperca rosacea* in La Paz Bay, Mexico”, *Ciencias Marinas*, 37(4): 425-441.
- Estrada-Godínez, J. A. 2012. Ciclo reproductivo y composición bioquímica de la cabrilla sardinera, *Mycteroperca rosacea* (Streets), en el medio natural. Tesis de doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. 132 p.
- Estrada-Godínez, J. A., M. Maldonado-García, V. Gracia-López, M. Carrillo, R. Rebollar-Prudente & M. Spanopoulos-Zarco. 2014. “Efecto del fotoperiodo y la temperatura

- sobre la composición bioquímica en reproductores silvestres de cabrilla sardinera, *Mycteroperca rosacea* (Streets, 1877)". *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 42(1):85-96.
- Findley, L., Lea, B., Allen, G. & Edgar, G. 2010. *Paralabrax auroguttatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2010: e.T183712A8162678. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T183712A8162678.en>. Downloaded on 21 July 2018.
- Fischer, W., Krupp, F., Scenider, W., Sommer, C., Carpenter, K. & Niem, V. 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico central-oriental. Programa de identificación y datos de especies. Departamento de pesca de la FAO, Instituto de Investigaciones Senckenbeerg, apoyado en la comisión europea, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Vertebrados. Parte II. Roma. Volumen III, pp.1201-1813.
- Freitas, M., Previero, M., Mente-Vera, C., Spach, H., Francini-Filho, R., & Moura, R. 2018. Reproductive biology and management of two commercially important groupers in the SWAtlantic. *Environ. Biol. Fish.*, 101:79–94.
- Froese, R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, metaanalysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 4(22):241–253.
- Ganias, K., M. Rakka, E. Mantzouki, T. Vavalidis, M. Tsinganis & C. Nunes. 2015. Maternal versus environmental constraints on the oocyte size of a marine pelagophil. *Fish. Mar. Biol.*, 162: 1879-1888.
- García-Cagide A. & R. Claro. 1994. Reproducción. En: R. Claro (Ed.). Ecología de los peces marinos de Cuba. Inst. de Oceanol. Acad. Cienc. Cuba y Centro de Invest. Quintana Roo, México 187-209 p.
- García-Díaz, M.M., Tuset, V.M., González, J.A. & Socorro, J. 1997. Sex and reproductive aspects in *Serranus cabrilla* (Osteichthyes: Serranidae): macroscopic and histological approaches. *Marine Biology*, 127: 379–386.
- García-Díaz, M.M., Lorente, M.J., González, J.A. & Tuset, V.M. 2001. Morphology of the ovotestis of *Serranus atricauda* (Teleostei, Serranidae). *Aquatic Science*, 64: 87-96.

- Giese, A. C. & J. S. Pearse. 1974. Reproduction of marine invertebrates, Volume I: Acoelomate and pseudocoelomate metazoans. Academic Press, INC. New York. 546 p.
- Hastings, P.A. 1989. Protogynous hermaphroditism in *Paralabrax maculatofasciatus* (Pisces: Serranidae). *Copeia*, 1989: 184–188.
- Helfman, G., Collette, B., Facey, D. & B. Bowen. 2009. The Diversity of Fishes. UK. Wiley-Blackwell. 737 p.
- Hovey, T. E. & Allen, L. G. 2000. Reproductive patterns of six populations of the spotted sand bass, *Paralabrax maculatofasciatus*, from southern and Baja California. *Copeia*, 2000(2): 459–468.
- Howard, D.W. & C.S. Smith. 1983. Histological techniques for marine bivalve mollusks. NOAA Tech Memo NMFSF/NEC-25. NOAA, Woods Hole, MA.
- Jarvis, E.T., C. Linardich & C. F. Valle. 2010. Spawning-Related Movements of Barred Sand Bass, *Paralabrax nebulifer*, in Southern California: Interpretation from Two Decades of Historical Tag and Recapture Data. *Bulletin, Southern California Academy of Science*, 109 (3): 123-143.
- Kiewek-Martínez, N. M. 2009. Estudio de la reproducción en cautiverio de la cabrilla sardinera, *Mycteroperca rosacea*: Inducción hormonal al desove, esteroides sexuales y descripción del desarrollo gonadal en el ciclo reproductivo. Tesis de doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. 135 p.
- Lagler, K. F., J. E. Bardach, R. R. Miller & D. R. May-Passino. 1984. Ictiología. AGT Editor. 1ª edición en español. México. 489 p.
- Lavin Peregrina MF & Marinone Moschetto SGL. 2003. An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. In: Velasco Fuentes OU, Sheinbaum J, Ochoa de la Torre JL (eds.), Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics. Kluwer Academic Publishers. 173–204 p.
- Liu, M., & Sadovy de Mitcheson, Y. 2011. The influence of social factors on juvenile sexual differentiation in a diandric, protogynous grouper *Epinephelus coioides*, *Ichthyol. Res.*, 58: 84-89.
- Love, M. S., A. Brooks, D. Busatto, J. Stephens & P. A. Gregory. 1996. Life history aspects of *Paralabrax clathratus* and *P. nebulifer*. *Fishery Bulletin*, 94: 472-481.

- Lowerre-Barbieri, S. K., N. J. Brown-Peterson, H. Murua, J. Tomkiewicz, D. Wyanski, & F. Saborido-Rey. 2011. Emerging issues and methodological advances in fisheries reproductive biology. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science*, 3:32–51
- Lucano-Ramírez, G., Villagrán-Santa, C., Ruiz-Ramírez, S. & López-Trujillo M.T. 2001. Histología de los ovocitos de *Lutjanus peru* (Nichols y Murphy 1922) (Pisces: Lutjanidae), *Ciencias Marinas*, 27:3, 335-349.
- Lucano-Ramírez, G., Ruiz-Ramírez, S., Gonzáles-Sansón, G. & Ceballos-Vázquez, B. 2011. Biología reproductiva del pargo *Lutjanus inermis* (Perciformes: Lutjanidae), en el Pacífico central mexicano, *Rev. Biol. Trop.*, 60(1): 393-403.
- Lucano-Ramírez, G., Ruiz-Ramírez, S., Gonzáles-Sansón, G. & Ceballos-Vázquez, B. 2014. Biología reproductiva del pargo alazán, *Lutjanus argentiventris* (Pisces, Lutjanidae), en el Pacífico central mexicano, *Ciencias Marinas*, 40(1): 33-44.
- Méndez-Marín, O. 2008. Estudio morfológico de los ciclos ovárico y testicular del pejelagarto, *Atractosteus tropicus*, en el Estado de Tabasco, México. Tesis de Maestría. UJAT, Villahermosa, Tab., 108 p.
- Militelli, M. & Rodrigues, K. 2011. Morphology of the ovotestis of a hermaphroditic teleost, *Serranus auriga* (Osteichthyes: Serranidae). *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 6(4):320-324.
- Munday P. L., P.M. Buston & R. R. Warner. 2006. Diversity and flexibility of sex-change strategies in animals. *Trends in Ecology and Evolution*, 21 (1): 89-95.
- Murua, H., G. Kraus, F. Saborido-Rey, P. R. Witthames, A. Thorsen & S. Junquera. 2003. Procedures to Estimate Fecundity of Marine Fish Species in Relation to their Reproductive Strategy. *J. North. Atl. Fish Sci.*, 33: 33-54.
- Oda D, Lavenberg R & Rounds J. 1993. Reproductive biology of the three California species of *Paralabrax* (Pisces: Serranidae). *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, 34:122-132.
- Provost, M. & Jensen, O. 2015. The impacts of fishing on hermaphroditic species and treatment of sex change in stock assessments. *Fisheries*, 40(11): 536-545.

- Provost, M., Jensen, O. & Berlinsky, D. 2017. Influence of Size, Age, and Spawning Season on Sex Change in Black Sea Bass. *Marine and Coastal Fisheries*, 9(1): 126-138.
- Pérez, A. 2016. Biología reproductiva de la cabrilla sardinera (*Mycteroperca rosácea*, Streets 1877) en la zona costera de Santa Rosalía, BCS, México. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. Baja California Sur, México, 71 pp.
- Piñón A, Amezcua F, & Duncan N. 2009. Reproductive cycle of female yellow snapper *Lutjanus argentiventris* (Pisces, Actinopterygii, Lutjanidae) in the SW Gulf of California: gonadic stages, spawning seasonality and length at sexual maturity, *Journal of Apply Ichthyology*, 25: 18–25.
- Pondela II D, Allen L, Rosales J & Hovey T. 2001. Demographic parameters of Golden Spotted Rock Bass *Paralabrax auroguttatus* from the Northern Gulf of California. *Transactions of the American Fisheries Society*, 130:4, 686-691.
- Querales D., J. Rosas, A. Velásquez, T. Cabrera & C. Maneiro. 2004. Desarrollo embrionario y larval de la vieja *Paralabrax dewegeri* Metzelaar (Pisces: Serranidae). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 39 (1): 1-11.
- Ramírez-Pérez J. S., F. N. Melo-Barrera & L.E. Ayala-Bobadilla. 2011. Age and growth of Pacific golden-eye tilefish (*Caulolatilus affinis*) in the central region of Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 37(1): 71-85.
- Randall, D., Burggren, W & French, K. 1998. Eckert Fisiología Animal: Mecanismos y adaptaciones. 4ª Ed. Interamericana MacGraw-Hill España. 795 p.
- Reñones, O., Grau, A., Mas, X., Riera, F & Saborido-Rey, F. 2010. Reproductive pattern of an exploited dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe 1834) (Pisces: Serranidae) population in the western Mediterranean. *Sci. Mar.*, 74(3): 523-537.
- Rosales, M. 2008. Efecto de la 17 α -Metiltestosterona en la diferenciación sexual de juveniles de *Paralabrax maculatofasciatus* (Steindachner, 1868) (Teleostei: Serranidae). Tesis de doctorado. CICIMAR-IPN. Baja California Sur, México, 104 p.
- Saborido-Rey, F. 2004. Ecología de la reproducción y potencial reproductivo en las poblaciones de peces marinos. Curso de doctorado 2002-2004, Instituto de Investigaciones Marinas (CSIC), Universidad de Vigo, España. 71 p.

- Saborido-Rey F., Murua H. & Macchi G.J. 2011. I Iberoamerican Symposium on Reproductive Ecology, Recruitment and Fisheries. *Ciencias Marinas*, 37 (4B): i-xii.
- Sadovy, Y. & Shapiro, D. Y. 1987. Criteria for the diagnosis of hermaphroditism in fishes. *Copeia*, 1987: 136–156
- Sadovy, Y., & Domeier, M. 2005. Perplexing problems of sexual patterns in the fish genus *Paralabrax* (Serranidae, Serraninae). *J. Zool., Lond.*, 267: 121-133.
- Sadovy de Mitcheson, Y., & Liu, M. 2008. Functional hermaphroditism in teleosts. *Fish and Fisheries.*, 9: 1-43.
- Salinas-de-León, P., A. Bertolotti, C. Chong-Montenegro, M. Gomes-Do-Régo, & R. F. Preziosi. 2017. Reproductive biology of Endangered white-spotted sand bass *Paralabrax albomaculatus* endemic to Galapagos Islands. *Endangered Species Research*, 34: 301-309.
- Smith, C. L. & P. H. Young. 1966. Gonad structure and the reproductive cycle of the Kelp Bass, *Paralabrax clathratus* (Girard), with comments on the relationships of the serranid genus *Paralabrax*. *Calif. Fish and Game*, 52(4): 283-292.
- Sparre, P. & Venema, S. 1997. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. Documento técnico de pesca. FAO. 451 p.
- Tuset, V.M., García-Díaz, M.M., González, J.A., Lorente, M.J. & Lozano, I.J. 2005. Reproduction and growth of the painted comber *Serranus scriba* (Serranidae) of the Marine Reserve of Lanzarote Island (Central- Eastern Atlantic). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 64: 335-346.
- Tyler, C.R. & J. P. Sumpter. 1996. Oocyte growth and development in teleosts. *Rev. Fish Biol. and Fish.* 6, 287-318
- Wallace, R. A. & K. Selman. 1981. Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. *Am. Zool.*, 21: 325-343.
- Zar J.H. 1996. Biostatistical analysis. 3rd edition. Prentice Hall, Inc. New Jersey, 662 p.
- Zhang, Q. F., Li, Y. W., Liu, Z. H. & Chen, Q. L. 2016. Reproductive toxicity of inorganic mercury exposure in adult zebrafish: Histological damage, oxidative stress, and alterations of sex hormone and gene expression in the hypothalamic-pituitary-gonadal axis. *Aquat toxicol*, 177:417-424.

Zohar, Y., M. Harel, S. Hassin & A. Tandler. 1995. Gilt-head sea bream (*Sparus aurata*). 94-117. En: N.R. Bromage y R.J. Roberts (eds). Broodstock management and egg and larval quality. Institute of Aquaculture. Blackwell Science. 424 p.