



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



DINÁMICA POBLACIONAL Y CICLO
REPRODUCTIVO DE *Pharia pyramidatus* (GRAY,
1840) (ECHINODERMATA: ASTEROIDEA) EN LA
BAHÍA DE LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR,
MÉXICO

TESIS

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

PRESENTA

ELIASIB EFIGENIA SÁNCHEZ VILLALOBOS

LA PAZ, B. C. S.

JUNIO DE 2012



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA 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 04 del mes de Mayo del 2012 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:

"DINÁMICA POBLACIONAL Y CICLO REPRODUCTIVO DE *Pharia pyramidatus* (GRAY, 1840) (ECHINODERMATA: ASTEROIDEA) EN LA BAHÍA DE LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"

Presentada por el alumno:

SÁNCHEZ

Apellido paterno

VILLALOBOS

materno

ELIASIB EFIGENIA

nombre(s)

Con registro:

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

Aspirante de:

MAESTRÍA 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

DRA. MARÍA DINORAH HERRERO PEREZRUL
Directora de Tesis

DR. FEDERICO ANDRÉS GARCÍA DOMÍNGUEZ
2º. Director de Tesis

DRA. BERTHA PATRICIA CEBALLOS VÁZQUEZ

DR. MARCIAL ARELLANO MARTÍNEZ

DR. HÉCTOR VILLALOBOS ORTIZ

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ



**IPN
CICIMAR
DIRECCION**



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

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 17 del mes Mayo del año 2012
el (la) que suscribe BM. ELIASIB EFIGENIA SÁNCHEZ VILLALOBOS alumno(a) del
Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS
con número de registro A100106 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
DRA. MARÍA DINORAH HERRERO PEREZRUL y DR. FEDERICO ANDRÉS GARCÍA DOMÍNGUEZ
y cede los derechos del trabajo titulado:

"DINÁMICA POBLACIONAL Y CICLO REPRODUCTIVO DE *Pharia pyramidatus* (GRAY, 1840)
(ECHINODERMATA: ASTEROIDEA) EN LA BAHÍA DE LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"

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

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: Eliasib23@gmail.com - dainoper@hotmail.com - fdoming@ipn.mx

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

BM. ELIASIB EFIGENIA SÁNCHEZ VILLALOBOS

nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

A las becas: Conacyt número CVU/becario 350471/239014, Pifi clave: 20100877, 20110757 y 20121218 y tesis; por ayudarme económicamente y confiar en un mexicano más que quiere superarse.

Papa, Mama: Muchas gracias por la confianza que han depositado en mí, por los buenos deseos, por ser los mejores padres y darme en una variedad de formas todo su amor. Los quiero mucho!

A ti Dino, gracias por apoyo brindado, por nunca negarme algo, por ser mi amiga y directora de tesis a la vez. Gracias por hacer de mis experiencias esta una de las mejores! Por cada seminario, congreso e incluso por solo platicar conmigo de la vida. Mil gracias por enseñarme más de lo que yo hubiera esperado.

Al Dr. Federico A. García Domínguez por facilitarme todo lo que necesite para realizar esta tesis, por quitarme las dudas en reproducción y por las bromas que siempre rompieron el hielo.

A mis sinodales Dra. Bertha Patricia Ceballos Vázquez, Dr. Marcial Arellano Martínez y al Dr. Héctor Villalobos Ortiz por confiar en mi, por las facilidades que me brindaron para procesar las muestras, sacarme de dudas y por esas platicas que a veces no tenían nada que ver con la tesis.

Haniel: gracias por todo tu apoyo incondicional como siempre, eres un gran amigo y un gran hombre, que siempre da sin pedir a cambio.

A mi hermana, hermanos, cuñadas, cuñado, sobrinas y sobrinos, porque en una variedad de maneras siempre me demuestran su apoyo y cariño.

A mis amigas (os) de maestría: Juan Carlos Hernández, Flor Huerta, Carolina Escobar, Paul Padilla, Nurenskaya Vélez, Andrea Franco, Alexandra Álvarez Del Castillo, Chicas de tochito Águilas Marinas del Cicimar, chicos de estancia Carlos y Daniel. A Don Javier y Frank, ya sea por el apoyo en las salidas de

campo, en laboratorio o simplemente por regalarme su amistad, gracias por hacer de mi estancia en La Paz lo más placentero.

Al Dr. Francisco Arreguín Sánchez por sus valiosas asesorías para entender mejor el programa FiSAT a pesar de no ser parte de mi comité revisor, agradezco su tiempo y amabilidad.

Al Dr. Siqueiros por esas clases de Filosofía de la Ciencia que hoy dejan frutos y por que a pesar de no estar dentro de mi comité siempre estuvo dispuesto a ayudar.

A Humberto H. Ceseña Amador y Cesar S. Casas Nuñez, por brindarme el mejor trato y apoyarme en cada trámite.

A Susy, Cristian, Pacheco y Roberto por apoyarme con cualquier duda en el área de computo.

Así como muchas personas que de alguna manera lo hicieron y que no vieron su nombre en este escrito, gracias.

Índice

Lista de figuras.....	i
Lista de tablas.....	iii
Glosario.....	iv
Resumen.....	vi
Abstract.....	viii
1. Introducción.....	1
2. Antecedentes.....	4
3. Hipótesis.....	7
4. Objetivo General.....	7
4.1 Objetivos particulares.....	7
5. Material y Métodos.....	8
5.1. Área de estudio.....	9
5.1.1 Recolecta.....	9
5.1.2 Parámetros de la población.....	11
5.1.3 Ciclo reproductivo.....	17
6. Resultados.....	19
6.1 Dinámica poblacional.....	19
6.1.1 Abundancia.....	19
6.1.2 Estructura de tallas.....	21
6.1.3 Crecimiento.....	25
6.1.4 Mortalidad natural.....	27
6.1.5 Proporción de sexos.....	27
7. Ciclo reproductivo.....	29
7.1 Fases de desarrollo gonádico.....	29
7.1.1 Hembras.....	30
7.1.2 Machos.....	33
7.1.3 Hermafrodita.....	36
7.1.4 Ciclo reproductivo.....	37
7.1.5 Índice gonadosomático en relación a las variaciones de la	

temperatura.....	38
7.1.6 Talla de primera madurez.....	40
7.1.7 Curva de supervivencia.....	41
8. Discusión.....	42
9. Conclusiones.....	50
10. Recomendaciones.....	51
11. Bibliografía.....	52

Lista de Figuras	Pag.
Figura 1. Área de estudio. Las estrellas indican los sitios de recolecta.....	9
Figura 2. Registro de longitud del brazo de <i>Pharia pyramidatus</i>	10
Figura 3. Abundancia de <i>Pharia pyramidatus</i> por tipo de sustrato en la Bahía de La Paz, B.C.S., de abril de 2010 a febrero de 2011.....	19
Figura 4. Densidad de <i>Pharia pyramidatus</i> en la Bahía de La Paz, B.C.S., de abril de 2010 a febrero de 2011.....	21
Figura 5. a) Frecuencia de longitud y (b) peso de <i>Pharia pyramidatus</i> en la Bahía de La Paz, B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011.....	22
Figura 6. Frecuencias mensuales de longitud de <i>Pharia pyramidatus</i> en la Bahía de La Paz, B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011.....	23
Figura 7. Relación peso-longitud de <i>Pharia pyramidatus</i> en la Bahía de La Paz, B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011.....	25
Figura 8. Crecimiento individual de <i>Pharia pyramidatus</i> en la Bahía de La Paz, B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011.Las líneas punteadas representan el error estándar.....	26
Figura 9. Distribución de edades de <i>Pharia pyramidatus</i> en la Bahía La Paz, B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011.....	26
Figura 10. Gónada indiferenciada de <i>Pharia pyramidatus</i> 20x. Fl, folículo; Pg, pared gonadal; Tc, Tejido conjuntivo; L, lumen; Fg, fagocitos.....	29
Figura 11. Gónada femenina en desarrollo de <i>Pharia pyramidatus</i> 20x. Pg, pared gonadal; Tc, Tejido conjuntivo; Op, ovocitos previtelogénicos; Ov, ovocitos maduros; N, núcleo; n, nucléolo.....	31
Figura 12. Gónada femenina en madurez de <i>Pharia pyramidatus</i> 20 x. Ov, ovocitos vitelogénicos; N, núcleo; n, nucléolo.....	31
Figura 13. Gónada femenina en desove de <i>Pharia pyramidatus</i> 20 x. Pg, pared	

gonadal; Tc, Tejido conjuntivo; Op, ovocitos previtelogénicos; Ov, ovocitos vitelogénicos; L, lumen; A, atresia; Fg, fagocitos.....	32
Figura 14. Gónada femenina en postdesove de <i>Pharia pyramidatus</i> 20 x. Pg, Pared gonadal; Tc, Tejido conjuntivo; Oa, ovocitos maduros; Fg, fagocitos.....	32
Figura 15. Gónada masculina en desarrollo de <i>Pharia pyramidatus</i> 20x. Pg, pared gonadal; Tejido conjuntivo; es, espermatidas; e, espermatogonias; E, espermatozoides; L, lumen, Pl, pliegues.....	34
Figura 16. Gónada masculina en madurez de <i>Pharia pyramidatus</i> 20x. E, espermatozoides; Fg, fagocitos.....	34
Figura 17. Gónada masculina en desove de <i>Pharia pyramidatus</i> 20x. Pg, pared gonadal; E, espermatozoides; L, lumen; Fg, fagocitos.....	35
Figura 18. Gónada masculina en postdesove de <i>Pharia pyramidatus</i> 20x. Pl, pliegue; Pg, pared gonadal; Tc, Tejido conjuntivo; E, espermatozoides; L, lumen; Fg, fagocitos.....	35
Figura 19. Gónada de un hermafrodita de <i>Pharia pyramidatus</i> 10x. Fl, folículo; P, pliegues; Pg, pared gonadal; Tc, Tejido conjuntivo; Op, ovocitos previtelogénicos; Ov, ovocitos maduros; e, espermatidas; e, espermatogonias; E, espermatozoides; L, lumen.....	36
Figura 20. Ciclo reproductivo de <i>Pharia pyramidatus</i> en la Bahía de La Paz, B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011.....	37
Figura 21. Índice gonadosomático de <i>Pharia pyramidatus</i> en relación a las variaciones de la temperatura en la Bahía de La Paz, B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011.....	39
Figura 22. Talla de primera madurez sexual de <i>Pharia pyramidatus</i> en la Bahía de La Paz, B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011.....	40
Figura 23. Curva de supervivencia de <i>Pharia pyramidatus</i> en la Bahía de La Paz,	

B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011..... 41

Lista de Tablas

Pag.

Tabla 1. Tabla de contingencia mensual de la abundancia de *Pharia pyramidatus* en relación al tipo de sustrato. 20

Tabla 2. Longitud y peso promedio mensual de *Pharia pyramidatus* en la Bahía de La Paz, B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011..... 24

Tabla 3. Mortalidad natural de *Pharia pyramidatus* en la Bahía de La Paz, B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011..... 27

Tabla 4. Relación entre el número de hembras por cada macho de *Pharia pyramidatus* en la Bahía de La Paz, B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011..... 28

Glosario

Abundancia: Número de individuos de la misma especie presentes en un ecosistema o en un área determinada.

Aposematismo: Es palabra de origen griego: *apo*= lejos o aparte y *sema*= señal, o sea señal de advertencia. En los animales es defensivo y se reconoce como peligroso ante los depredadores. Por ejemplo, los colores llamativos, sabor desagradable, etc.

Ciclo reproductivo: Frecuencia de aparición de las diferentes fases de desarrollo gonádico a través del año y que en general es cíclico.

Densidad: Número de individuos o biomasa de la población por unidad de superficie ó volumen.

Dinámica poblacional: Estudio de los cambios que se presentan en una población respecto a su tamaño poblacional, estructura de edad y sexo, así como los factores que causan esos cambios.

Talla de primera madurez sexual: Es la talla o peso en la cual el 50% de los individuos de una población alcanzan por primera vez la madurez sexual.

Equinodermos: Son animales exclusivamente marinos integrantes del Phylum Echinodermata, cuyo nombre quiere decir echinos=espinosos y dermas=piel. De simetría bilateral en el estadio larvario y pentarradial en el estadio adulto. Presenta un endoesqueleto de carbonato de calcio y un sistema vascular acuífero, conocido como sistema ambulacral acuífero.

Gonocóricas: Especies con sexos separados genotípicamente, es decir que existen machos y hembras.

Hermafrodita: Es un individuo que posee órganos reproductivos masculinos y femeninos.

Larvas lecitotróficas: Larvas cuyo desarrollo ocurre dentro del huevo y se alimentan de vitelo. Cuando eclosionan están listas para la metamorfosis. Común en especies de aguas profundas.

Larvas planctotróficas: Son larvas cuyo desarrollo ocurre en la columna de agua, formando parte del plancton, al terminar el desarrollo se fijan en el sustrato en donde ocurre la metamorfosis a etapa juvenil.

Mortalidad Natural: Tasa de muerte dentro de una población atribuida a causas naturales, como enfermedades y depredación.

RESUMEN

La estrella de mar *Pharia pyramidatus* es una de las más abundantes en el Golfo de California y en el Pacífico mexicano, parece jugar un papel importante en el sistema arrecifal al ayudar a controlar la biomasa de algas que compiten con el coral. Existe poca información sobre su biología, por lo que el presente trabajo describe algunos aspectos de su dinámica poblacional y ciclo reproductivo durante el periodo de febrero de 2010 a febrero de 2011. Se estimó la abundancia poblacional utilizando transectos de banda de 25 x 2 m. La temperatura *in situ* se tomó mensualmente. Se registró la longitud del brazo más largo de cien estrellas mensuales y se pesaron 30 aproximadamente a partir de los cuales se describió la frecuencia de tallas, la relación peso-longitud y se calcularon algunos parámetros poblacionales (L_{∞} , K , t_0). Se utilizó la ecuación de crecimiento indirecto de von Bertalanffy para modelar su crecimiento. Se estimó la mortalidad natural a partir de cuatro modelos comunes. Adicionalmente se fijaron cerca de 30 individuos en formol al 10% para el estudio de reproducción. Se extrajeron las gónadas, se pesaron y se procesaron histológicamente. Las laminillas fueron teñidas con hematoxilina-eosina y se observaron a 10 y 20 X. Se describieron cinco estadios de desarrollo gonádico, se calculó el índice gonadosomático (IG) y se estimó la talla de primera madurez sexual. La estrella *Pharia pyramidatus* presentó abundancias menores de un ind/m² a lo largo del periodo de estudio. Se cuantificó un total de 1338 individuos, con una longitud y peso promedio de 8.49 ± 0.42 cm y 36.23 ± 0.97 g respectivamente. La relación peso-longitud indicó que la especie crece de manera alométrica negativa en el área de estudio ($b=2.28$). La proporción sexual no difirió significativamente de 1:1. *P. pyramidatus* crece rápido durante los tres primeros años de vida; la mortalidad natural fue relativamente baja ($M= 0.25$), y la curva de supervivencia mostró que para el primer año de vida muere cerca del 31% de los reclutas y menos del 22% alcanza la madurez sexual. La reproducción presentó un patrón anual y la temperatura más alta se consideró como un disparador del desove. El IG se encontró estrechamente relacionado con la temperatura superficial del mar. La edad de primera madurez se alcanzó a los 6.7 cm o cuatro años. Se concluye que *P.*

pyramidatus tiene un crecimiento lento y un ciclo reproductivo anual relacionado con las variaciones de la temperatura del agua.

Palabras clave: Equinodermos, comunidades arrecifales, parámetros poblacionales, crecimiento, ciclo gonádico.

ABSTRACT

The starfish *Pharia pyramidatus* is one of the most abundant in the Gulf of California and Mexican Pacific. It plays an important role in the reef system controlling the algae that compete with corals. There is little information on its biology, so this study describes some aspects of its population dynamics and reproductive patterns from February 2010 to February 2011. Abundance was estimated through 25 x 2 m belt transects. The largest arm from approximately 100 starfish was measured monthly. Size histograms were plotted; we calculated the length-weight relationship and some population parameters (L_{∞} , K , t_0). We used the von Bertalanffy equation to model growth using indirect methods. Natural mortality was estimated using four models. Additionally, 30 individuals were preserved in 10% formalin for the reproduction study. Gonads were dissected, weighted and embedded in paraffin. Slides were stained with hematoxylin-eosin and observations were made at 10 y 20 X. We described five stages of gonad development, calculated the gonad index (IG) and the size at first maturity. We collected a total of 1338 individuals, with an average length and weight of 8.49 ± 0.42 cm and 36.23 ± 0.97 g respectively. The length-weight relationship showed that this species grows allometrically at the study site ($b=2.28$). Sex rate was not statistically different from 1:1. *P. pyramidatus* grows fast during the first years of life until 3 years old. Natural mortality was relatively low ($M= 0.25$), and the survival curve showed that for the first year of life, about 31 % of recruits die and less than 22% reach sexual maturity. Reproduction showed an annual pattern, spawning was triggered by the highest sea surface temperature at the study site and IG showed a close relationship with sea surface temperature values. Size at first maturity was reached at 6.7 cm or four years. In addition *P. pyramidatus* shows low growth rate, late sexual maturity and an annual pattern influenced by sea surface temperature.

keywords: Echinoderms, reef communities, population parameters, growth, gonad cycle.

1. INTRODUCCIÓN

Los equinodermos son invertebrados exclusivamente marinos, cuyo nombre (*echinos*=espinas; *dermas*=piel) quiere decir piel armada de espinas. Son organismos bentónicos asociados a sustratos rocosos, coralinos, arenosos y mixtos (Rupert & Barnes, 1969; Holguín-Quiñones *et al.*, 2000). Se encuentran en todos los océanos y a todas las profundidades conocidas incluyendo las ventilas hidrotermales (Hyman, 1955; Maluf, 1988; Smirnov *et al.*, 2000; Hooker *et al.*, 2005). A nivel mundial se han descrito cerca de 7,000 especies (Brusca & Brusca, 1990; Harrison & Chia, 1994) que se agrupan en cinco clases: Crinoidea, Asteroidea, Ophiuroidea, Echinoidea y Holothuroidea. Dentro del ecosistema desempeñan un papel esencial, ya que realizan diferentes funciones dentro de la trama trófica (Hyman, 1955; Lawrence, 1987; Hooker *et al.*, 2005); por ejemplo, los herbívoros ayudan a controlar la abundancia de algas que compiten con el coral; los carnívoros controlan la abundancia y distribución de otros organismos; los detritívoros reciclan la materia orgánica haciéndola accesible a otros organismos y los filtradores son capaces de limpiar el agua de algunos contaminantes (Hyman, 1955; Lawrence, 1987; Guzmán, 1988; Levitan, 1988; Brusca & Brusca, 1990; Reyes-Bonilla *et al.*, 2005; Herrero-Pérezrul *et al.*, 2008).

Dentro de los equinodermos, la clase Asteroidea (estrellas de mar) se distribuye en todos los océanos desde cero hasta 6000 m de profundidad, sobre sustrato rocoso, de coral y arena (Rupert & Barnes, 1969; Lawrence, 1987). Se conocen en el mundo cerca de 2,000 especies recientes y en la República Mexicana se conocen alrededor de 50 en el Pacífico mexicano y 44 en el Golfo de California (Solís-Marín *et al.*, 1997; Solís-Marín *et al.*, 2005; Honey-Escandón *et al.*, 2008). Algunas especies de asteroideos se alimentan de moluscos como almejas, ostras, mejillones, muchos de los cuales son de interés comercial. Otras consumen organismos coloniales como anémonas, gorgonias y corales, tal es el caso de *Acanthaster planci*, que devastó hectáreas de arrecifes coralinos en la gran barrera Australiana, cuando sus abundancias se incrementaron notoriamente entre 1970 y

1990 (Chester, 1969; Weber & Woodhead, 1970; Glynn, 1973; Pratchett *et al.*, 2009).

En general, las estrellas de mar son dioicas y presentan un par de gónadas en cada brazo. Su fecundación se da de manera externa, presentan larvas planctónicas en aguas someras que duran alrededor de un mes en la columna de agua o larvas lecitotróficas, cuyo desarrollo ocurre de manera directa en aguas abisales (Lawrence, 1987; Benítez-Villalobos *et al.*, 2007; Mercier & Hamel, 2008). Por otra parte, los asteroideos son capaces de regenerar los brazos que han sido amputados como resultado de la depredación (Calva, 2002; Rubilar *et al.*, 2005), incluso llegan a utilizar este sistema como medio de reproducción asexual (McClanahan & Muthiga, 1989; Benítez-Villalobos *et al.*, 2007). En general las especies que se encuentran en zonas subtropicales y latitudes altas presentan un periodo reproductivo anual, influenciado por la temperatura superficial del mar, mientras que en el Ecuador se reproducen de manera continua (Giese & Pearse, 1974).

En México, los equinodermos dominantes del Golfo de California son los equinoideos y los asteroideos, entre los que destaca la estrella de mar *Phataria unifascialis* por presentar densidades superiores a los 900 individuos por hectárea (Reyes-Bonilla *et al.*, 2005; Herrero-Pérezrul *et al.*, 2008). En segundo lugar de abundancia ubican a *Pharia pyramidatus* (Guzmán-Méndez, 2009; Herrero-Pérezrul, 2008). Se cree que ambas especies tienen un papel importante en el ecosistema arrecifal ya que mantienen en niveles controlados a las algas que compiten con los corales, porque se consideran especies herbívoras (Reyes-Bonilla *et al.*, 2005; Herrero-Pérezrul *et al.*, 2008). Además representan un recurso económico, al menos para el estado de Baja California Sur, ya que son las especies de asteroideos que más se capturan con fines artesanales y de acuariofilia. El único permiso existente para su explotación se autorizó en la zona de Loreto, donde la extracción de las estrellas se lleva a cabo bajo un plan de manejo que incluye la estimación de su abundancia y determinación de cuotas de aprovechamiento (Sáenz-Arroyo & Fernández-Rivera Melo, 2010). Sin embargo, no existen otras medidas de manejo

como talla mínima de captura, veda reproductiva y tampoco se llenan bitácoras de captura.

La estrella *Pharia pyramidatus* presenta una coloración amarilla con café. Tiene cinco brazos de forma triangular flexibles, lo que le permite esconderse debajo de las rocas, en oquedades y entre las ramas de coral. Se distribuye desde los 32° N en el Golfo de California hasta los 4° S al norte de Perú, incluyendo las Islas Galápagos (Maluf, 1988; Holguín-Quiñones *et al.*, 2000; Neira & Cantera, 2005; Reyes-Bonilla *et al.*, 2005). El objetivo del presente trabajo fue analizar algunos aspectos de su dinámica poblacional y ciclo reproductivo en la Bahía de La Paz, B. C. S., México, a fin de generar información que permita en un futuro el establecimiento de algunas medidas de manejo y conservación.

2. ANTECEDENTES

De manera histórica se han realizado diversos listados taxonómicos en Latinoamérica sobre equinodermos, obtenidos principalmente de cruceros de investigación. Entre ellos destacan los realizados por el Challenger (1872-1876), que viajó alrededor del mundo excepto en la Antártida; posteriormente de las expediciones del Albatross (1891-1905) surgieron los primeros listados de equinodermos americanos y también las expediciones de los Veleros I, II y III, que terminaron en 1941 y visitaron el Pacífico mexicano (Fraser, 1943). Por otro lado, entre los investigadores que se dedicaron a los equinodermos en América, destacan A. Agassiz (1835-1910) y P. Sladen (1849-1900) quienes estuvieron en el Challenger. Algunos extranjeros que describieron especies de equinodermos mexicanos fueron T. Mortensen (1868-1952), H.L. Clark (1870-1947), A.H. Clark (1880-1954); E. Deichmann (1896-1975), etc. En México, la pionera en el estudio de este grupo fue M.E. Caso-Muñoz (1915-1991), quien describió numerosas nuevas especies. En años recientes Solís-Marín *et al.* (1993, 1997 y 2005), actualizaron el listado de equinodermos del país e incluso describen nuevas especies (Solís-Marín & Laguarda-Figueras, 1999).

En los últimos años comenzaron a realizarse algunos trabajos sobre ecología de equinodermos en México (Reyes-Bonilla *et al.*, 2005; Benítez-Villalobos *et al.*, 2008; Herrero-Pérezrul *et al.*, 2008; Ríos-Jara *et al.*, 2008; Guzmán-Méndez, 2009; Herrero-Pérezrul & Álvarez del Castillo, 2011). Estos autores mencionan que la diversidad de equinodermos es más alta en el Golfo de California que en el Golfo de México y en el resto del Pacífico mexicano.

Los estudios de reproducción aportan información valiosa para la toma de decisiones de manejo y conservación, en particular para las especies de interés comercial. En el caso de los equinodermos predominan los estudios sobre equinoideos y holoturoideos y en menor grado, asteroideos, ofiuroideos y crinoideos. Estudiar la reproducción en este grupo presenta algunas dificultades, ya que no

presentan dimorfismo sexual externo, por lo que deben ser examinados a través de técnicas histológicas. Lo que han observado diversos autores es que en general la proporción de sexos es de 1:1 y que la mayoría son especies gonocóricas, aunque existen algunas hermafroditas. Describen cinco fases de desarrollo gonádico: desarrollo, madurez, desove, postdesove e indiferenciado (Conand, 1990; Herrero-Pérezrul *et al.*, 1999; Guzmán & Guevara, 2002; Benítez-Villalobos *et al.*, 2007; Bos *et al.*, 2008). Los gametos se liberan en la columna de agua donde son fecundados (Giese & Pearse, 1974; Lawrence, 1987) y se ha detectado una relación entre el tamaño del ovocito y el tipo de desarrollo. Aquellos que dan lugar a larvas planctotróficas miden entre 100 y 500 μm , mientras que los que dan lugar a larvas lecitotróficas miden más de 500 μm (Bakus, 1973; Lawrence, 1987; Byrne, 1996; Herrero-Pérezrul *et al.*, 1998; 1999; Freeman *et al.*, 2001; Herrera-Escalante, 2005; Martínez-García, 2010).

En general la reproducción de los equinodermos se ve influenciada por las condiciones ambientales, principalmente por la temperatura, el fotoperiodo, la salinidad, la calidad y cantidad de alimento, así como por la latitud. De este modo las especies tropicales se reproducen una vez al año en coincidencia con las temperaturas más elevadas; aquellas cercanas al Ecuador lo hacen de manera continua y en los polos y aguas abisales, puede tener una periodicidad anual o bianual (Pain *et al.*, 1982; Hamel *et al.*, 2003; Benítez-Villalobos *et al.*, 2007; Mercier & Hamel, 2009).

Ya se mencionó anteriormente que son pocos los estudios de reproducción de asteroideos, pero se ha demostrado la influencia de las variables ambientales. Tal es el caso de *Asterias amurensis*, especie tropical depredadora de mejillones comerciales que ha invadido las costas de Australia. Al estudiar su reproducción en Tasmania se encontró una periodicidad anual con desoves entre julio y octubre en un intervalo de temperatura superficial del mar entre 10 y 11°C (Byrne *et al.*, 1997). Mientras otras especies como *Coscinasterias muriceta* en esas latitudes, desova a finales de la primavera y principios de verano (Georgiades *et al.*, 2006). Por otro lado, *Astropecten irregularis* en las Islas Británicas y *Protoreaster nodosus* en

Filipinas presentaron un ciclo reproductivo anual con el desove relacionado a temperaturas elevadas (27 - 29°C) y a la disponibilidad de alimento (Freeman *et al.*, 2001; Bos *et al.*, 2008).

En México, son contados los trabajos sobre la biología reproductiva de las estrellas de mar. En *Pharia pyramidatus*, solo se conoce un estudio efectuado en Isla Montosa, Oaxaca (Martínez-García, 2010), en el cual se encontró que presenta un ciclo reproductivo anual con desoves durante el verano relacionado con altos valores de fotoperiodo (12.7 horas luz) y temperatura del agua de mar (29°C). Otra especie relacionada es *Phataria unifascialis* en la Bahía de La Paz (Herrera-Escalante, 2005), presenta un ciclo reproductivo continuo con dos picos de madurez, cinco estadios gonádicos y un desarrollo entre diciembre y abril, cuando la temperatura del agua es baja (19 - 21°C), mientras que el desove se observó durante el verano con temperaturas elevadas (25 - 29°C).

Es importante conocer algunos aspectos poblacionales, sobre todo de las especies que representan un interés ecológico o económico, ya que su conservación y explotación dependen del equilibrio entre la tasa de natalidad y mortalidad natural (depredación, enfermedades), así como de la inmigración y emigración (Sparre & Venema, 1995). El estudio del crecimiento en equinodermos no se ha podido abordar a través de métodos directos, pues carecen de estructuras rígidas que permitan delimitar anillos de crecimiento con marcas químicas como tetraciclina (Ebert, 1978). El uso de marcas físicas tampoco ha sido efectivo pues estos organismos son capaces de necrosar el área donde se han colocado las marcas, registrándose una pérdida de más del 90 % de las mismas (Conand, 1990). Esto ha favorecido el uso de métodos indirectos para estudiar el crecimiento en equinodermos comerciales en todo el mundo, usando la longitud del brazo en modelos como el de von Bertalanffy (Shelley, 1985; Conand, 1988; Herrero-Pérezrul *et al.*, 1999; Grosjean, 2001; Nuño-Hermosillo, 2003; Herrera-Escalante, 2005; Montuy-Gómez, 2008). La tasa de mortalidad natural también se ha estimado utilizando algunos métodos tradicionales (Rikhter & Effanov, 1976; Pauly, 1980; Chávez, 1995; Jensen, 1997).

3. HIPÓTESIS

Considerando que *Pharia pyramidatus* presenta altas abundancias en el Golfo de California, se cree que hay un aporte continuo de individuos a la población, lo que sugiere una alta frecuencia de desoves.

Se espera que la especie presente un ciclo continuo de reproducción, con un periodo de desove durante el verano cuando se presentan los mayores valores de temperatura superficial del mar, así como un crecimiento rápido de los individuos durante los primeros años de vida.

4. OBJETIVO GENERAL

Analizar algunos aspectos de la dinámica poblacional y el ciclo reproductivo de *Pharia pyramidatus* en la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México.

4.1 OBJETIVOS PARTICULARES

- 1) Estimar la abundancia de *Pharia pyramidatus*.
- 2) Analizar la relación de peso-longitud.
- 3) Obtener los parámetros poblacionales (longitud asintótica (L_{∞}), tasa intrínseca de crecimiento (K), edad hipotética cuando el crecimiento es cero (t_0) y mortalidad natural (M)).
- 4) Calcular la proporción sexual.
- 5) Describir el ciclo reproductivo.
- 6) Relacionar el ciclo reproductivo con las variaciones de la temperatura.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 Área de estudio

La Bahía de La Paz es el cuerpo de agua costero más grande y profundo del Golfo de California. Está caracterizado por un intercambio dinámico de tres masas de agua: agua del Golfo de California, agua superficial ecuatorial y agua subsuperficial subtropical. La bahía se conecta al Golfo de California a través de dos aperturas: una al norte (Boca Grande), caracterizada por ser amplia y profunda, y al sur (Boca Chica), conocida como Canal San Lorenzo, caracterizado por ser somero y estrecho. La pendiente batimétrica de norte a sur es de 450 a 10 m (Obeso-Nieblas *et al.*, 2008).

Hay una variación estacional en la temperatura del mar ocasionada por la variación local de los vientos y la radiación solar. Se presentan dos patrones de vientos: 1) vientos del sur y sureste: A finales de la primavera, todo el verano y principios del otoño hay calmas frecuentes, lo que combinado con una fuerte radiación ocasiona la estratificación de la columna de agua apreciada por la presencia de una termoclina y 2) vientos del norte y noroeste: A finales de otoño e invierno se producen vientos fuertes, lo que rompe la estratificación y se forma una capa de mezcla (Obeso-Nieblas *et al.*, 2008).

El área de estudio se encuentra ubicada al sur de la bahía (Fig. 1), de Punta Gaviota a El Corralito, zona que se caracteriza por la presencia de sustrato de roca, coral, cantos rodados y arena.

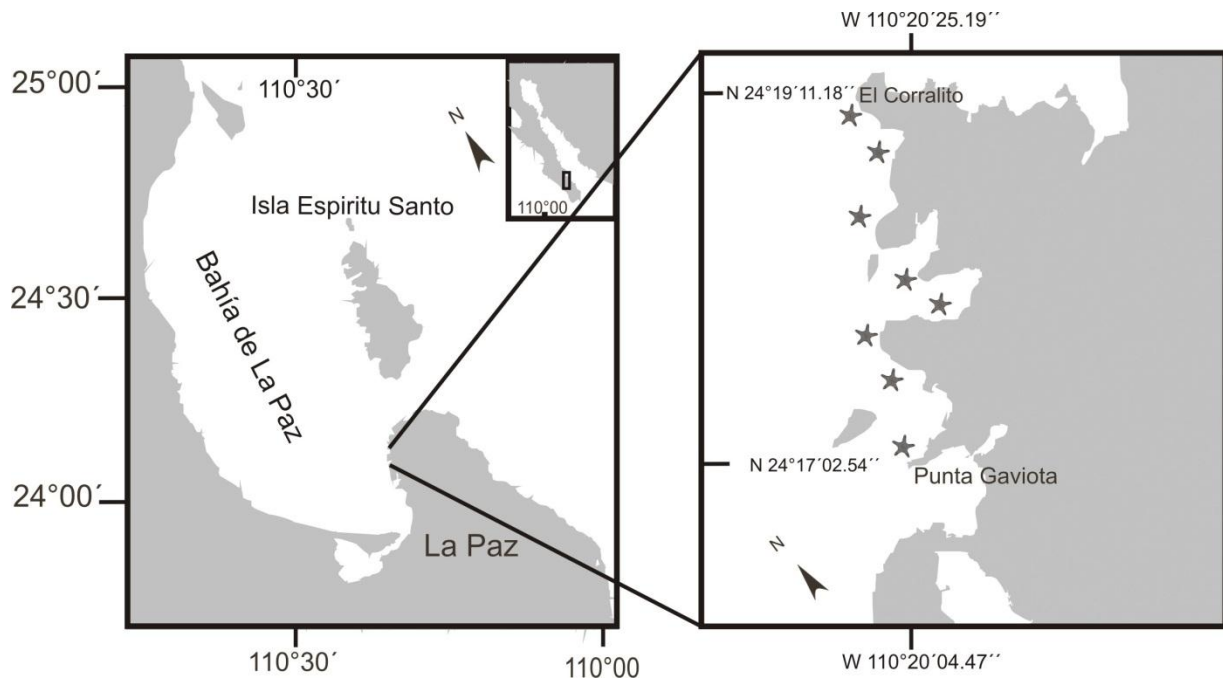


Figura 1. Área de estudio. Las estrellas indican los sitios de recolecta.

5.1.1 Recolecta

Se efectuaron muestreos mensuales de febrero de 2010 a febrero de 2011. En cada mes se recolectaron al azar alrededor de 100 individuos, en un intervalo de profundidad de 1 a 7 m por medio de buceo libre, registrando además la temperatura superficial del mar con un termómetro de mercurio. De los 100 organismos recolectados, alrededor de 70 se midieron en campo y fueron devueltos al mar, los 30 restantes fueron llevados al laboratorio para el estudio histológico que se describe más adelante. A partir de abril y hasta el final del estudio se realizaron mensualmente ocho transectos de banda de 25 x 2 m (para un total de 88) en los cuales se contó el total de organismos presentes. Al mismo tiempo se caracterizó el tipo de sustrato sobre el que se encontraron los individuos considerando cinco tipos: roca, coral vivo, coral muerto, tapete de algas y arena (Almada-Villela *et al.*, 2003). Para estimar la densidad promedio mensual se dividió el número de individuos

contados entre el área total de los ocho transectos (400 m²). La densidad promedio para todo el periodo de estudio se obtuvo dividiendo el total de individuos entre el área total cuantificada. Adicionalmente se realizó una tabla de contingencia con el fin de evaluar si existen diferencias en el tipo de sustrato preferido por *Pharia pyramidatus* dentro del área de estudio.

Para registrar la talla de las estrellas se utilizó una cinta flexible (precisión 1.0 mm) para medir la longitud del brazo más largo desde el centro del disco hasta el ápice (Fig. 2). En los asteroideos se utiliza esta variable debido a que los brazos suelen ser arrancados por depredadores (Herrero-Pérezrul & Luna-Salguero, 2011), y después son regenerados en su totalidad. Hipotéticamente el brazo más largo representa las condiciones de crecimiento más cercanas a la realidad (Herrera-Escalante, 2005; Meretta *et al.*, 2011). Se registraron los pesos de las ~ 30 estrellas que fueron llevadas al laboratorio para reproducción, utilizando una balanza digital marca Ohaus con precisión de 0.01 g.

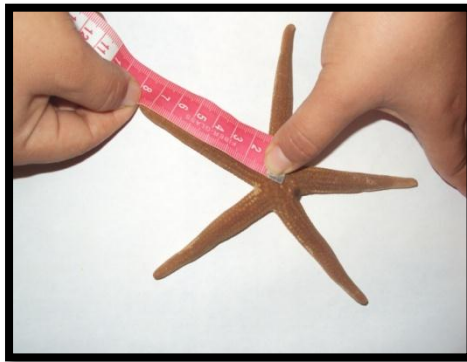


Figura 2. Registro de longitud del brazo de *Pharia pyramidatus*.

5.1.2 Parámetros de la población

Relación peso-longitud

Con los datos de talla se calculó la relación peso-longitud siguiendo la ecuación alométrica general (Ricker, 1975):

$$P = a L^b$$

Donde:

P =Peso en gramos del individuo.

L =Longitud en centímetros del brazo más largo.

a =Coeficiente de proporcionalidad.

b =Coeficiente de alometría.

Estimación de parámetros de crecimiento

Con los datos de la longitud del brazo más largo de cada individuo medido a lo largo del año de muestreo se estimaron los parámetros de crecimiento (L_{∞} y K) mediante el método de frecuencias de tallas. Se utilizaron las rutinas del programa Fish Stock Assessment Tools II (FiSAT) (Gayanillo *et al.*, 2005). Las tallas encontradas mensualmente fueron agrupadas en intervalos de 2 cm.

La longitud asintótica (L_{∞}) se calculó con el método de Powell (1979), este autor menciona que el crecimiento de la talla de los individuos es diferente por lo que L_{∞} varia. Por lo que Wetherall *et al.*, (1987) para mejorar el método propusieron calcular la talla media de los individuos más grandes, donde la talla de primera captura (l_c) será correcta para cualquier individuo pequeño al calcular l_c . La l_c era un problema

en los individuos más pequeños, debido a que es común que se encuentre por encima de ellos una gama amplia de tallas en muestreos posteriores. Lo anterior ocasionaba variaciones en la mortalidad por pesca (F) y mortalidad total (Z). La l_c representa gráficamente una media lineal de acuerdo a la siguiente formula:

$$l' = a + bl_c$$

Donde:

$$a = L_\infty \left\{ 1 + \left(\frac{Z}{K} \right) \right\} \text{ y } b = \left(\frac{Z}{K} \right) / \left(1 + \frac{Z}{K} \right)$$

l' = Talla media de todas las estrellas más grandes.

a = Orden del origen.

b = Pendiente.

Z = Mortalidad total.

K = Tasa intrínseca de crecimiento.

La l' ($=l'_x$) gráfica respecto a l_x , lo que genera una línea recta con b y a ; al estimar lo anterior se obtiene L_∞ y Z/K ; esta es grande y tiene ventajas al visualizar la mejor línea y ordenada al origen del eje x (estimación directa de L_∞ y por consiguiente la pendiente de $1 + Z/K$) (Gulland & Rosenberg, 1992).

La tasa intrínseca de crecimiento (K) se estimó con el método de Shepherd (1987). Este método aporta diferentes grupos de parámetros de crecimiento en función de como estén acomodadas las modas. Este mide de manera general las predicciones y observaciones que se encuentra en la distribución de tallas; estas predicciones y observaciones se basan a partir de la raíz cuadrada del número de ejemplares observados en el grupo de tallas, lo que estabiliza la varianza y da ventaja al método (Gulland & Rosenberg, 1992). Se obtiene de la siguiente manera.

$$T(l, i) = \frac{\text{Sen } \pi (t_{\text{máx}} - t_{\text{mín}})}{\pi (t_{\text{máx}} - t_{\text{mín}})} \text{Cos} 2\pi(t' - t_s)$$

Donde:

$T(l, i)$ = Función de la puntuación.

$t_{\text{max}} - t_{\text{min}}$ = Edades correspondientes a los límites superior e inferior del intervalo de longitud.

t' = Promedio de $t_{\text{max}} - t_{\text{min}}$, esto es, la edad a la marca de la clase del intervalo de edad.

t_s = Fecha de la toma de la muestra expresada como proporción de un año.

Por otro lado, la t_0 (parámetro de ajuste), se obtuvo a partir de la ecuación de Pauly (1980), introduciendo los valores de K y L_∞ (obtenidos a partir de las subrutinas de FiSAT). La fórmula es la siguiente:

$$-t_0 = (-0.40 - 0.28 * \log L_\infty + 1.04 * \log K)$$

Donde:

t_0 = Valor teórico de la edad en la que el crecimiento es cero.

L_∞ = Longitud asintótica en centímetros.

Crecimiento

Para estimar el crecimiento individual en *Pharia pyramidatus* se utilizó el modelo de von Bertalanffy, frecuentemente utilizado en equinodermos (Shelley, 1985; Conand, 1990; Herrero-Pérezrul *et al.*, 1999; Grosjean, 2001; Nuño-Hermosillo, 2003; Herrera-Escalante, 2005; Montuy-Gómez, 2008) descrito a través de la siguiente ecuación:

$$L_t = L_\infty(1 - e^{-K(t-t_0)})$$

Donde:

L_t = Longitud total en centímetros.

e = Constante de Euler.

t = Edad en años.

Con esta información se convirtió la talla a edad (en años) a partir del despeje de la ecuación de von Bertalanffy y se determinó su distribución en la población. La ecuación queda de la siguiente manera:

$$t = \frac{\ln \left(1 - \frac{L_t}{L_\infty} \right) + t_0}{K}$$

Mortalidad natural

La tasa instantánea de mortalidad natural (M) es un parámetro difícil de calcular, dado que generalmente la información de la que se dispone involucra otra variable que es la mortalidad ocasionada por la pesca (F). De esta manera, los estudios pesqueros consideran una tasa de mortalidad total (Z), que es la suma de ambas mortalidades ($Z = M + F$). Por otro lado, no siempre se tiene la estimación sobre la mortalidad total, y ésta tiene que calcularse a partir de datos de talla. Existen modelos para calcular M que se basan justo en el análisis de la talla e involucran algunos parámetros poblacionales como L_{∞} y K . Sin embargo en asteroideos no existe un modelo en particular por lo que M se calculó a partir de los modelos más utilizados para invertebrados marinos y algunos equinodermos (Rikhter & Efanov, 1976; Pauly, 1980; Chávez, 1995; Jensen, 1997) de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

Rikhter & Efanov (1976):

$$M = 1.52 / (tm50\% e 0.720) - 0.155$$

Donde:

$tm50\%$ = talla de primera madurez sexual.

Pauly (1980):

$$M = (0.8 * e(-0.0152 - 0.279) * Ln(L_{\infty}) + 0.6543 * Ln(K) + (0.463 Ln(T)))$$

Donde:

T = Temperatura promedio del agua del área de estudio.

Chávez (1995):

$$M = K$$

Jensen (1997):

$$M = 1.5 K$$

Es importante mencionar que se consideró el valor de la mediana de los cuatro modelos como valor final de M a fin de reducir el nivel de variación (Herrero-Pérezrul *et al.*, 1999; Herrero-Pérezrul & Chávez, 2005; Montuy-Gómez, 2008).

Sobrevivencia

Para saber aproximadamente cuantos individuos sobreviven en un tiempo dado, se estimó la curva de supervivencia de una cohorte teórica (Csirke, 1980), con la siguiente ecuación:

$$N_t = N_0 * e^{-Mt}$$

Donde:

N_t = Número total de sobrevivientes de la cohorte en un tiempo t .

N_0 = Número inicial de reclutas de la cohorte.

M = Tasa de mortalidad natural.

t = Tiempo en años.

Longevidad

La longevidad se calculó con la ecuación propuesta por Chávez (1995):

$$l = \frac{3}{K}$$

Donde:

l = Longevidad.

5.1.3 Ciclo reproductivo

Los ~30 individuos llevados al laboratorio fueron fijados en formol al 10% para el estudio de reproducción. Después de 72 horas se eliminó el fijador con agua corriente.

Posteriormente se extrajeron las gónadas, se pesaron, se procesaron histológicamente y se incluyeron en parafina. Se realizaron cortes de 6 μ de grosor con un micrótopo rotatorio y se montaron en portaobjetos para después ser teñidas con hematoxilina-eosina (Humason, 1979). Las laminillas se observaron al microscopio a 10 y 20 X. A través de las observaciones de los gametos se identificó el sexo de cada individuo para posteriormente determinar la proporción sexual de cuantas hembras hay por cada macho. Se aplicó una prueba de X^2 para determinar si ésta difería significativamente de 1:1 (Zar, 1999). Se describieron cinco estadios de desarrollo gonádico (indiferenciado, desarrollo, madurez, desove y postdesove) de acuerdo al criterio de Herrera-Escalante (2005).

Se calculó la talla de primera madurez considerada cuando el 50% de los individuos analizados se encontraron sexualmente maduros (Somerton, 1980). Para

visualizarlo se graficó la frecuencia acumulada de todos los individuos en fase de madurez y se trazó una línea a partir del 50% hacia la curva.

El índice gonadosomático (*IG*), se refiere a la proporción que guarda el peso de la gónada respecto al peso total del individuo. El *IG* se calculó de abril de 2010 a febrero de 2011. Considerando que las estrellas de mar presentan gónadas en cada brazo, se decidió determinar si existían diferencias estadísticas entre el peso de la gónada de cada brazo. Pesando la gónada de cada brazo de ocho ejemplares, de los cuales no existen diferencias significativas ($F_{4,7}=10.14$; $p > 0.054$), de esta forma el *IG* se calculó para la gónada de un solo brazo y se multiplicó por cinco. El *IG* se calculó con la fórmula de Giese & Pearse (1974):

$$IG = \frac{\text{Peso de la gónada en 1 brazo} * 5}{\text{Peso total de la estrella}} \times 100$$

Considerando que el *IG* se presenta en porcentajes, estos fueron normalizados utilizando la transformación arcoseno (Scheffler, 1979)

Se calcularon los estadísticos descriptivos a todas las variables analizadas (Zar, 1999). Se aplicó la prueba de Bartlett para determinar normalidad y homocedasticidad de varianzas. Para comparar las variables en el tiempo, se les aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía ($\alpha=0.05$), cuando se encontraron diferencias significativas, se aplicó la prueba de Tukey para determinar su origen (Zar, 1999).

6. RESULTADOS

6.1 Dinámica poblacional

6.1.1 Abundancia

Los valores más altos de abundancia se presentaron en julio de 2010 y febrero de 2011 (Fig. 3). El principal sustrato en el que se encontraron las estrellas de mar fue sobre roca y coral vivo, mientras que en el tapete algal fueron menos frecuentes. Al realizar la tabla de contingencia mensual (Tabla 1), se observó que hay dependencia sobre el tipo de sustrato por *P. pyramidatus*. La densidad promedio mensual fue mayor en julio y febrero (Fig. 4). En todo el periodo de estudio se realizaron 88 transectos equivalentes a un área de 4400 m². Se obtuvo un total de 307 estrellas que tuvieron una densidad promedio durante todo el estudio de 0.069 ± 0.01 ind/m².

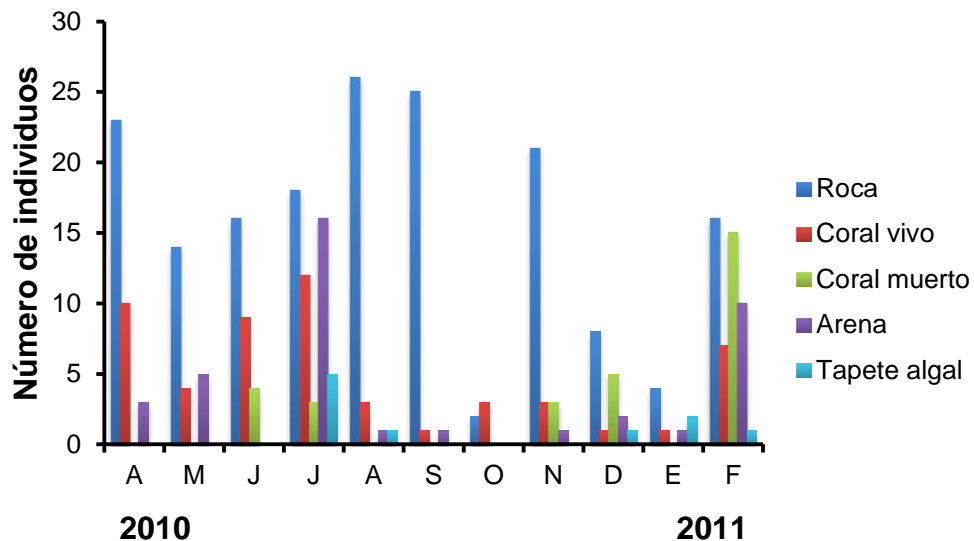


Figura 3. Abundancia de *Pharia pyramidatus* por tipo de sustrato en la Bahía de La Paz, B.C.S., de abril de 2010 a febrero de 2011.

Tabla 1. Tabla de contingencia mensual de la abundancia de *Pharia pyramidatus* en relación al tipo de sustrato.

Mes	Roca	Coral vivo	Coral muerto	Arena	Tapete algal	Total	X ²	P
Abril	23	10	0	3	0	36	52.61	0.00
Mayo	14	4	0	5	0	23	79.80	0.00
Junio	16	9	4	0	0	29	10.94	0.02
Julio	18	12	3	16	5	54	5.75	0.29
Agosto	26	3	0	1	1	31	15.38	0.00
Septiembre	25	1	0	1	0	27	16.18	0.00
Octubre	2	3	0	0	0	5	31.86	0.00
Noviembre	21	3	3	1	0	28	28.52	0.09
Diciembre	8	1	5	2	1	17	54.14	0.00
Enero	4	1	0	1	2	8	8.00	0.09
Febrero	16	7	15	10	1	49	89.11	0.00

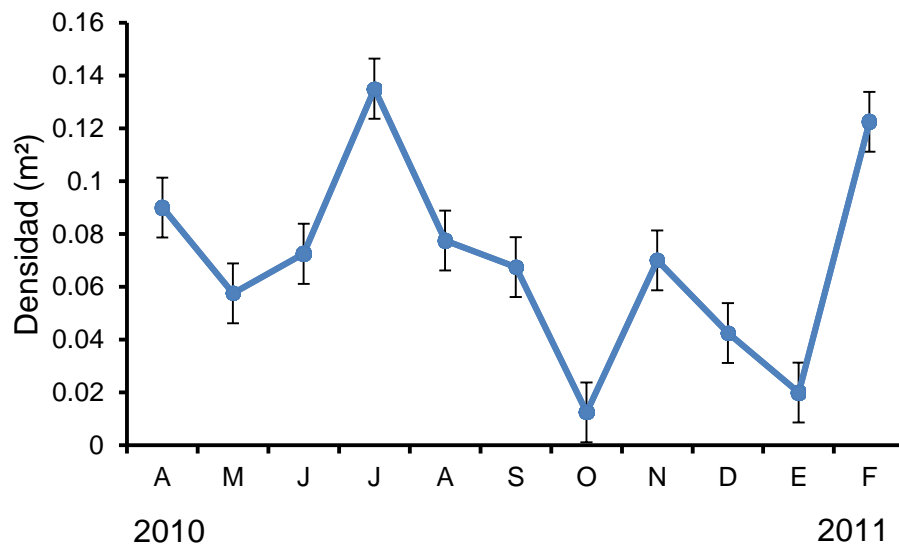


Figura 4. Densidad de *Pharia pyramidatus* en la Bahía de La Paz, B.C.S., de abril de 2010 a febrero de 2011.

6.1.2 Estructura de tallas

La población estuvo conformada por organismos que midieron y pesaron en promedio 8.49 ± 0.42 cm y 36.23 ± 0.97 g respectivamente (Fig. 5a, b). La longitud máxima encontrada fue de 14.9 cm y la mínima de 4.2 cm. El peso máximo fue de 129 g y el mínimo de 5 g. La longitud y el peso presentaron diferencias significativas en el tiempo ($F_{12,1325}=37.422$, $p < 0.043$, $F_{12,406}=37.716$, $p < 0.039$ respectivamente), y la prueba *a posteriori* identificó a octubre como el único mes con diferencia significativa.

La mayoría de los individuos se encontraron en la clase de talla de 7 a 9 cm de longitud y en el peso de 25 a 35 g. Los individuos más pequeños (~ 4 y 5 cm) se encontraron en nueve de los 13 meses analizados, con una mayor frecuencia de aparición de octubre de 2010 a febrero de 2011 (Fig. 6).

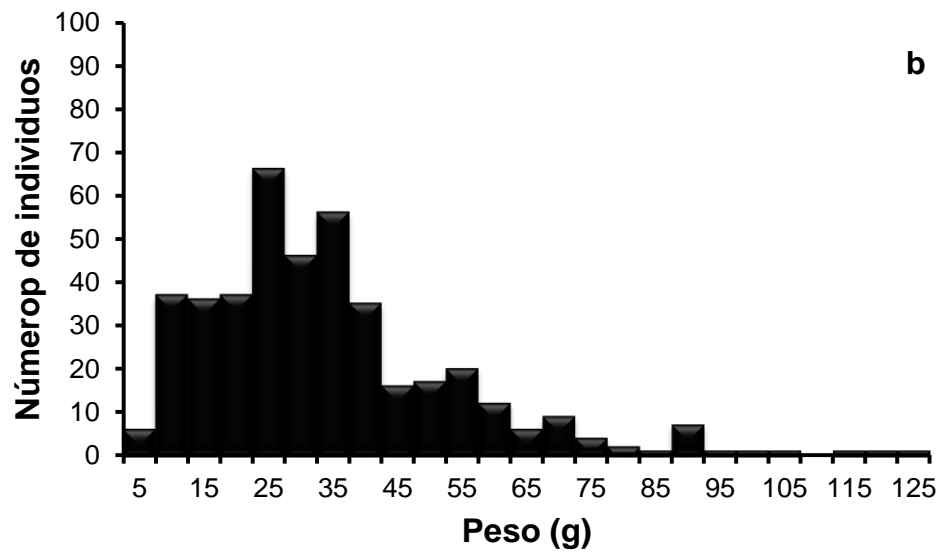
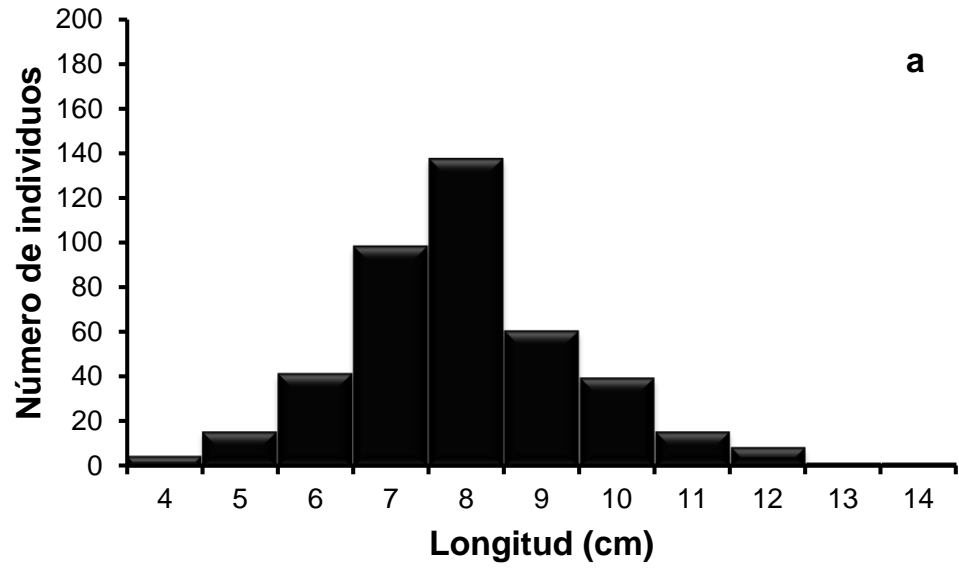


Figura 5. a) Frecuencias de longitud y b) peso de *Pharia pyramidatus* en la Bahía de La Paz, B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011.

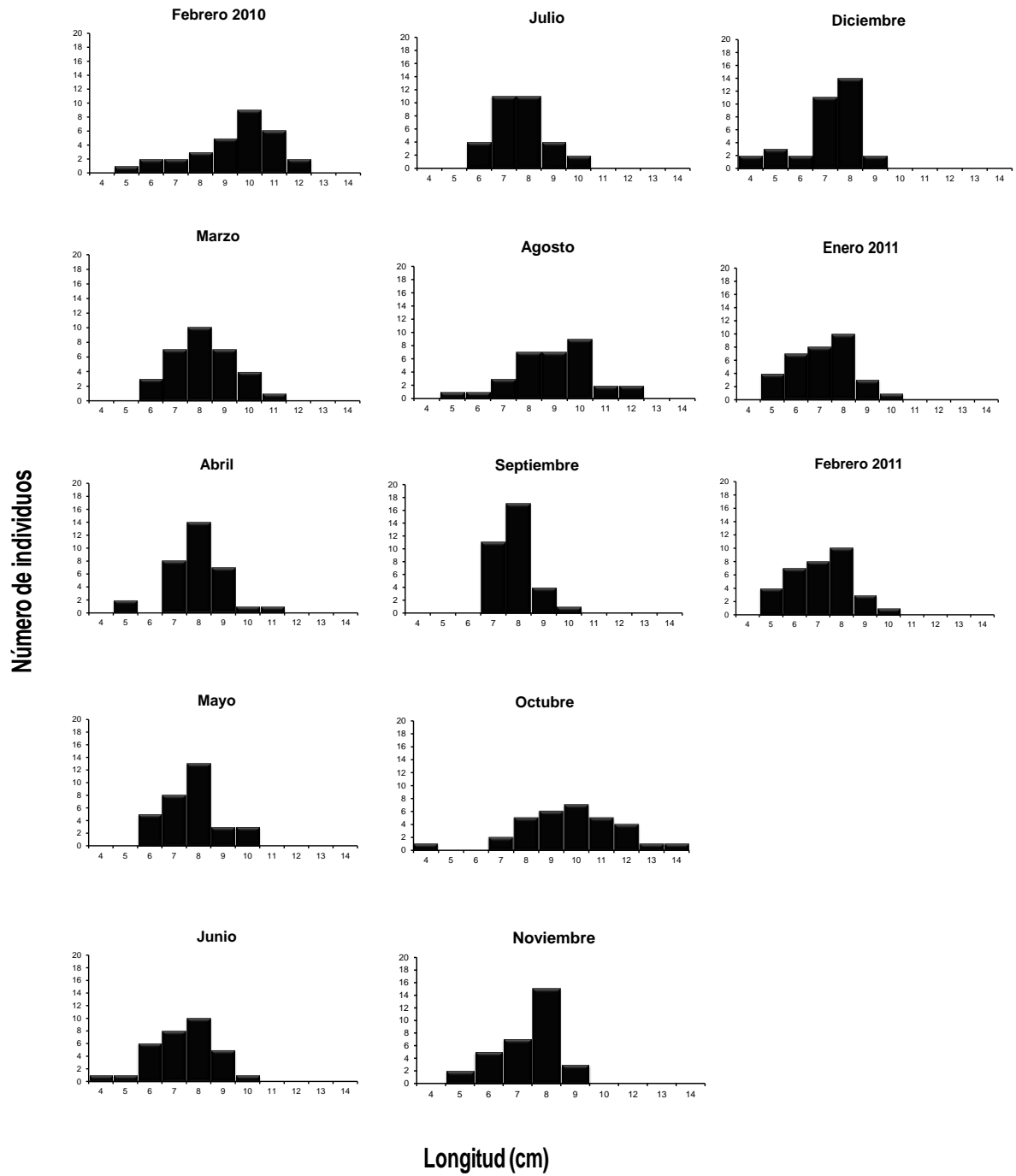


Figura 6. Frecuencias mensuales de longitud de *Pharia pyramidatus* en la Bahía de La Paz, B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011.

En la tabla 2 se presenta la longitud y peso promedio mensual y sus valores máximos y mínimos correspondientes.

Tabla 2. Longitud y peso promedio mensual de *Pharia pyramidatus* en la Bahía de La Paz, B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011.

Mes	n	Longitud (cm)		Peso (g)	
		Prom \pm Error estándar	Min-Máx	Prom \pm Error estándar	Min-Máx
Febrero 2010	99	9.38 \pm 1.60	5.9-12.9	56.64 \pm 22.93	14.8-116.3
Marzo	116	8.05 \pm 1.15	5.5-11.6	41.68 \pm 17.06	19-91
Abril	113	9.26 \pm 1.29	5.6-12	33.36 \pm 8.98	14-58
Mayo	107	7.99 \pm 0.96	5.5-10.3	32.62 \pm 11.09	14-62
Junio	102	7.76 \pm 1.10	4.7-10.2	34.41 \pm 10.74	15.7-67.7
Julio	103	7.86 \pm 0.92	6-10.2	17.87 \pm 6.25	8-34
Agosto	101	9.36 \pm 1.38	5.3-12.1	48.59 \pm 15.72	18-87
Septiembre	103	8.53 \pm 1.26	5.7-11.6	34.78 \pm 8.13	23-57
Octubre	85	10.16 \pm 1.79	4.9-14.9	69.43 \pm 26.20	20-129
Noviembre	101	8.06 \pm 1.10	5.4-10.8	12.30 \pm 3.07	5-22
Diciembre	103	7.71 \pm 1.21	4.2-10.6	30.09 \pm 9.05	10-50
Enero 2011	102	8.92 \pm 1.86	5.7-13.5	31.62 \pm 10.96	17-59
Febrero	103	7.63 \pm 1.19	5-10.3	30.15 \pm 11.8	7-65

6.1.3 Crecimiento

La relación peso-longitud de estrella *Pharia pyramidatus* fue alométrica negativa en el área de estudio (Fig. 7).

El modelo de von Bertalanffy describió para la población analizada un crecimiento rápido durante los primeros años (Fig. 8), de aproximadamente 2 cm anuales hasta que llegan a los tres años de vida, posteriormente crecen solo un 1 cm al año hasta aproximarse a su asíntota $L_{\infty} = 10.93$ cm.

Con la información utilizada en la ecuación del crecimiento se convirtió la longitud de los individuos muestreados a edad y se determinó su frecuencia de aparición en la población. La clase de edad dominante fue de 6 años (Fig. 9), que corresponde a 7.7 a 8.2 cm de longitud. Se calculó una longevidad de 15 años para *Pharia pyramidatus* en el área de estudio.

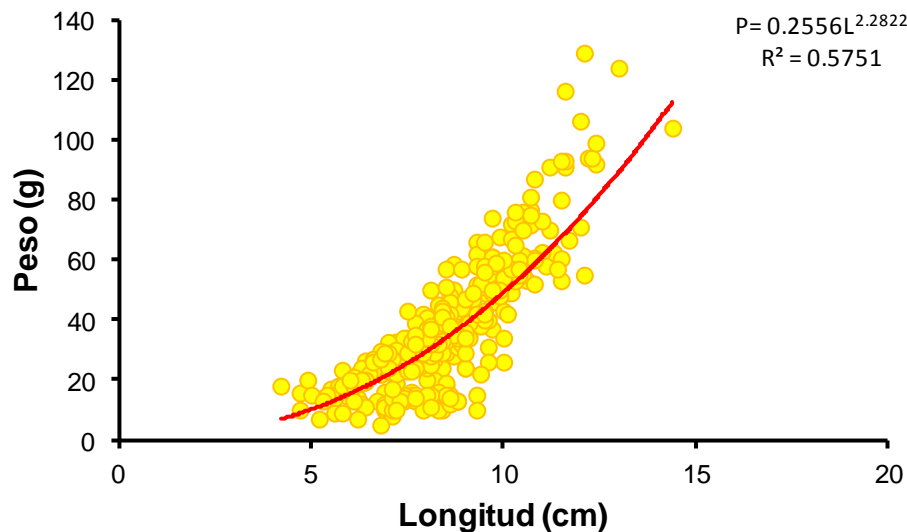


Figura 7. Relación peso-longitud de *Pharia pyramidatus* en la Bahía de La Paz, B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011.

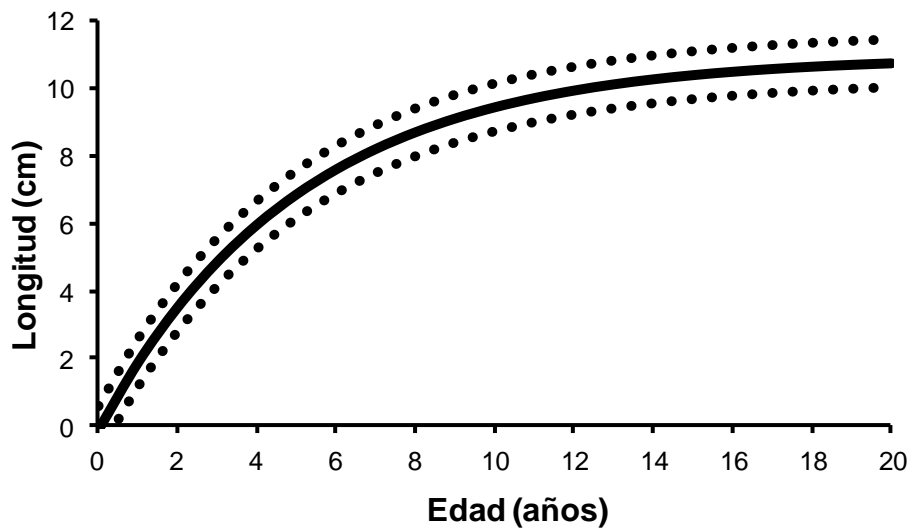


Figura 8. Crecimiento individual de *Pharia pyramidatus* en la Bahía de La Paz, B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011. Las líneas punteadas representan el error estándar.

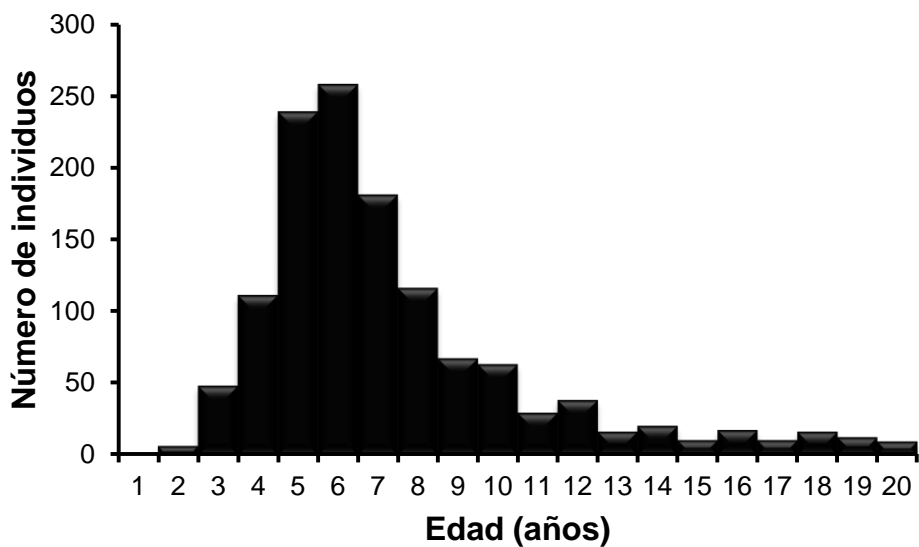


Figura 9. Distribución de edades de *Pharia pyramidatus* en la Bahía de La Paz, B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011.

6.1.4 Mortalidad natural

En la Tabla 3 se presentan los valores de mortalidad natural obtenidos con los diferentes modelos. Para el presente trabajo se consideró el valor de $M= 0.25$ que es el valor de la mediana de los cuatro modelos utilizados.

Tabla 3. Mortalidad natural de *Pharia pyramidatus* en la Bahía de La Paz, B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011.

Modelos	Mortalidad
Pauly, 1980	0.78
Rikhter & Effanov, 1976	0.20
Jensen, 1997	0.30
Chávez, 1995	0.20
Mediana	0.25

6.1.5 Proporción sexual

Para el estudio de reproducción se obtuvo un total de 416 individuos (~30 mensuales). Solamente 299 especímenes presentaron gónada, de éstos 172 fueron hembras, 127 machos, 1 hermafrodita, mientras que 116 organismos no pudieron ser sexados. La proporción sexual difirió significativamente de 1:1 ($X^2=6.47$, $gl=1$, $p=0.01$) en todo el periodo de estudio, sin embargo, la proporción sexual no difirió de 1:1 en los meses de abril, junio, julio, agosto, septiembre y octubre (Tabla 4).

Tabla 4. Relación entre el número de hembras por cada macho de *Pharia pyramidatus* en la Bahía de La Paz, B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011.

Mes	Hembras	Machos	Total	X ²	P	Proporción H:M
Febrero 2010	15	8	23	1.56	0.21	1.9:1
Marzo	16	9	25	1.44	0.23	1.8:1
Abril	13	17	30	0.3	0.58	1:1.3
Mayo	17	9	26	1.88	0.16	1.9:1
Junio	14	18	32	0.28	0.59	1:1.3
Julio	18	14	32	0.28	0.59	1.3:1
Agosto	16	14	30	0.03	0.85	1.1:1
Septiembre	12	14	26	0.03	0.84	1:1.2
Octubre	13	13	26	0.00	1	1:1
Noviembre	10	6	16	0.56	0.45	1.7:1
Diciembre	7	3	10	0.9	0.34	2.3:1
Enero 2011	11	1	12	6.75	0.00	11:1
Febrero	10	1	11	5.81	0.01	10:1
Total	172	127	299	6.47	0.01	1.3:0.7

7. Ciclo reproductivo

7.1 Fases de desarrollo gonádico

Se describieron cinco estadios gonádicos basados en el tipo y nivel de desarrollo de los gametos: indiferenciado, desarrollo, madurez, desove y postdesove.

Indiferenciado

Esta fase se caracteriza por la ausencia de gametos femeninos y masculinos. En la figura 10 se observan folículos teñidos de color rosa, que tienen una apariencia de globos desinflados. Se pueden observar pliegues, la pared es gruesa y tiene tejido conjuntivo abundante. En el lumen únicamente se detectó la presencia de fagocitos.

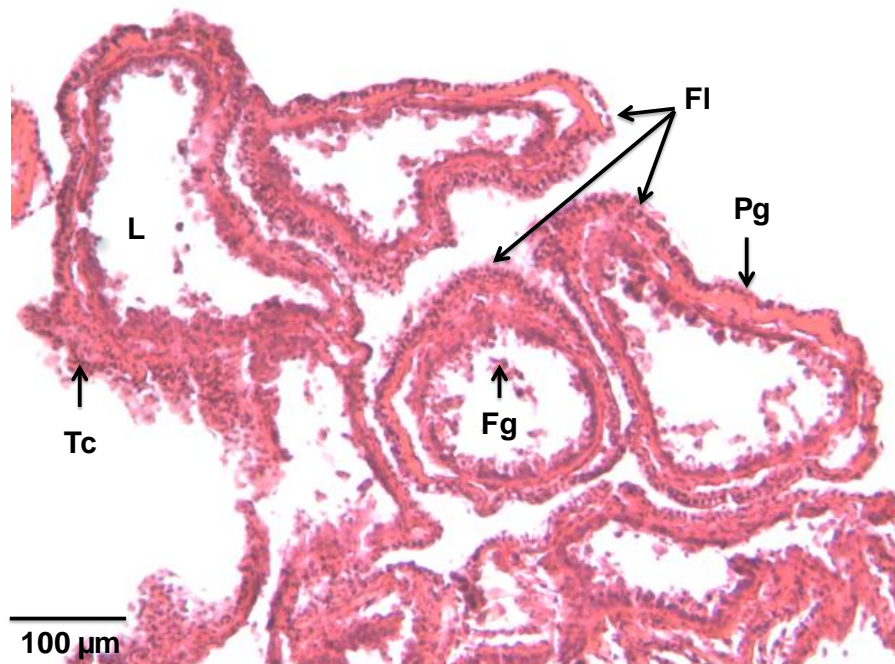


Figura 10. Gónada indiferenciada de *Pharia pyramidatus* 20x. FI, folículo; Pg, pared gonadal; Tc, Tejido conjuntivo; L, lumen; Fg, fagocitos.

7.1.1 Hembras

Desarrollo

En general la gónada de hembra en desarrollo presentó una pared gonadal delgada y poco tejido conjuntivo, que puede observarse aun dentro del folículo. Destaca la presencia de ovocitos previtelogénicos cercanos a la pared interna del folículo. También se observan algunos ovocitos vitelogénicos casi maduros donde puede distinguirse el núcleo y el nucleolo (Fig. 11).

Madurez

Durante este estadio el folículo está totalmente lleno de ovocitos maduros, donde se observa que el núcleo está teñido de color rosa por la eosina y el nucleolo está teñido de color morado por la hematoxilina (Fig. 12).

Desove

Lo primero que se observa en una hembra en desove es la presencia de grandes espacios entre los ovocitos, lo que indica que ya se liberaron los gametos. Hay pocos ovocitos previtelogénicos y la mayoría son ovocitos maduros que no fueron liberados. Se observa un incremento en el tejido conjuntivo y es notoria la presencia de atresias y numerosos fagocitos en la pared gonadal (Fig.13).

Postdesove

La pared interna de la gónada se observa más gruesa y hay una gran cantidad de tejido conjuntivo. Los ovocitos vitelogénicos se observan amorfos porque están siendo digeridos por fagocitos, que son muy numerosos (Fig. 14).

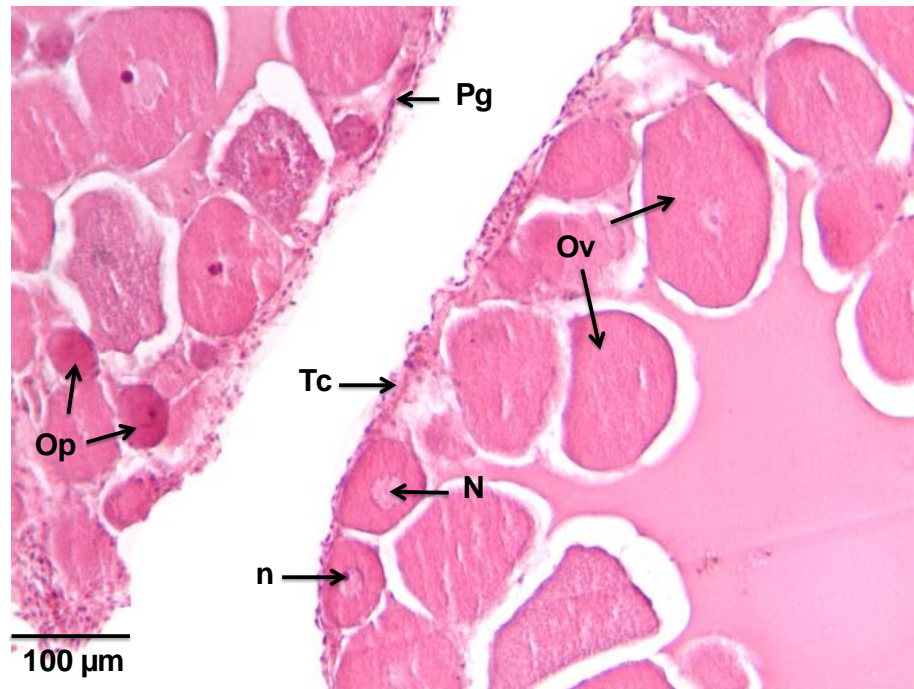


Figura 11. Gónada femenina en desarrollo de *Pharia pyramidatus* 20x. Pg, pared gonadal; Tc, Tejido conjuntivo; Op, ovocitos previtelogénicos; Ov, ovocitos maduros; N, núcleo; n, nucléolo.

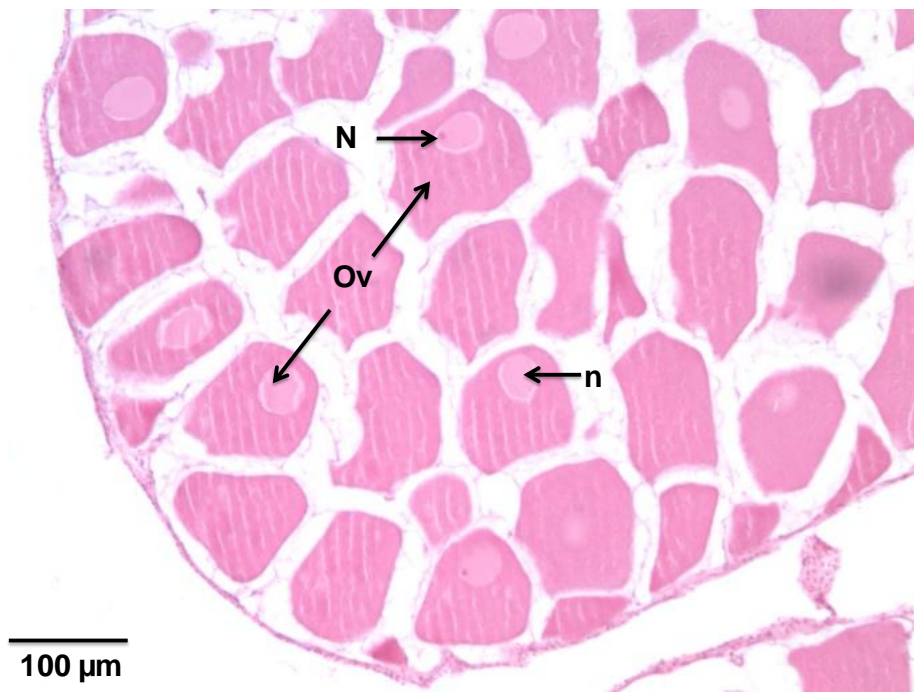


Figura 12. Gónada femenina en madurez de *Pharia pyramidatus* 20 x. Ov, ovocitos vitelogénicos; N, núcleo; n, nucléolo.

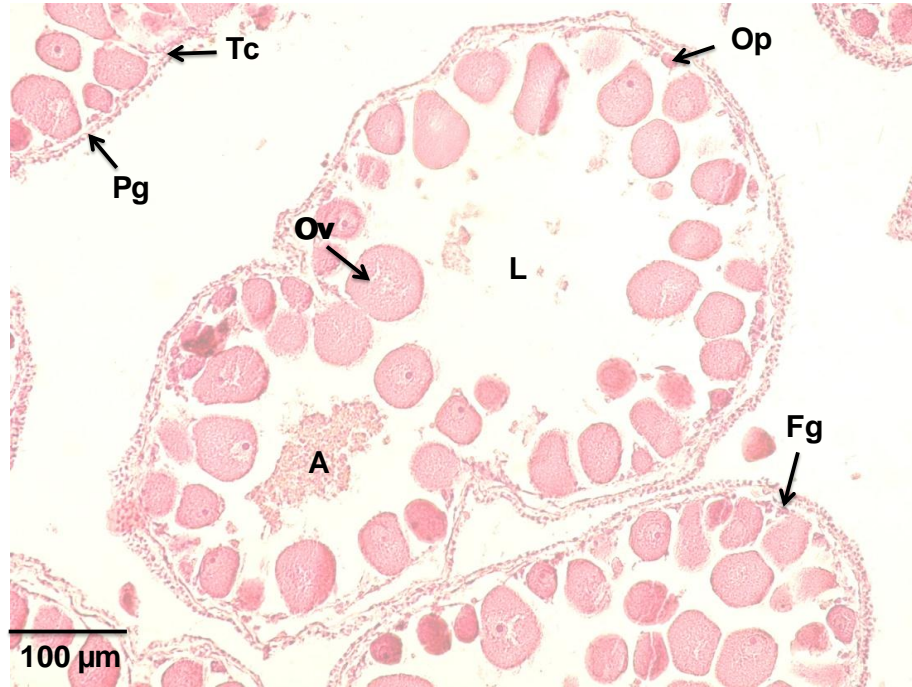


Figura 13. Gónada femenina en desove de *Pharia pyramidatus* 20 x. Pg, pared gonadal; Tc, Tejido conjuntivo; Op, ovocitos previtelogénicos; Ov, ovocitos vitelogénicos; L, lumen; A, atresia; Fg, fagocitos.

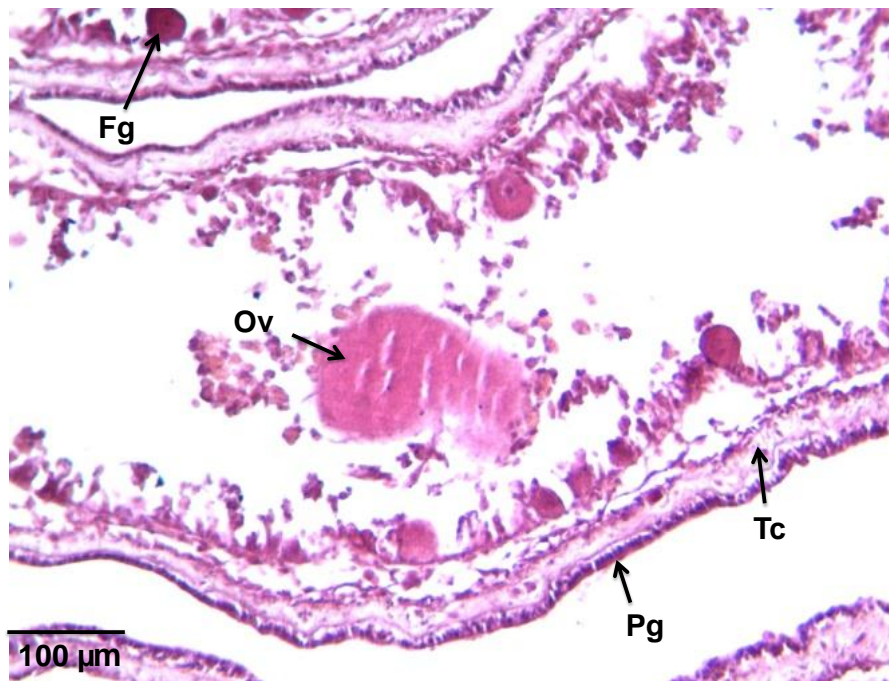


Figura 14. Gónada femenina en postdesove de *Pharia pyramidatus* 20 x. Pg, Pared gonadal; Tc, Tejido conjuntivo; Ov, ovocitos maduros; Fg, fagocitos.

7.1.2 Macho

Desarrollo

Se observa una gran cantidad de tejido conjuntivo y la pared es gruesa. En la periferia del lumen se observan espermatogonias y espermatidas. También se observan algunos espermatozoides maduros en el centro del lumen. Es notoria la presencia de pliegues en la pared externa del folículo (Fig. 15).

Madurez

El folículo se encontró lleno de espermatozoides que se encuentran fuertemente teñidos. Se observaron algunos fagocitos y no hay tejido conjuntivo (Fig.16).

Desove

El folículo se observó con espacios vacíos entre la periferia y el centro del lumen debido a la liberación de los gametos. La pared de la gónada se ve más gruesa y empiezan a observarse fagocitos (Fig. 17).

Postdesove

El folículo se observó casi vacío. La pared gonadal se presentó gruesa, con gran presencia de tejido conjuntivo. Se presentaron algunos espermatozoides al centro de la pared gonadal y muchos fagocitos (Fig.18).

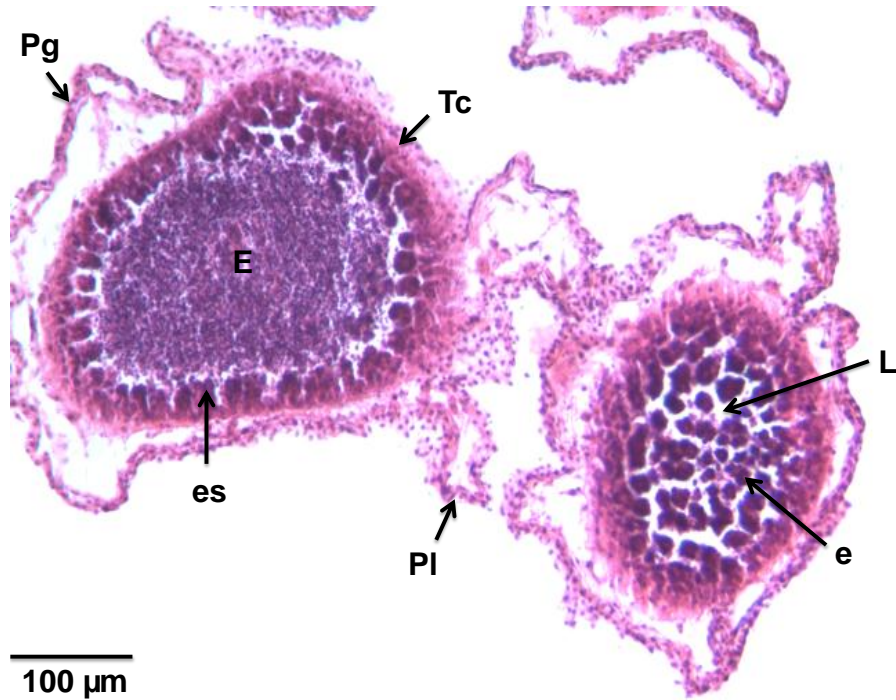


Figura 15. Gónada masculina en desarrollo de *Pharia pyramidatus* 20x. Pg, pared gonadal; Tejido conjuntivo; es, espermatídas; e, espermatogonias; E, espermatozoides; L, lumen, Pl, pliegues.

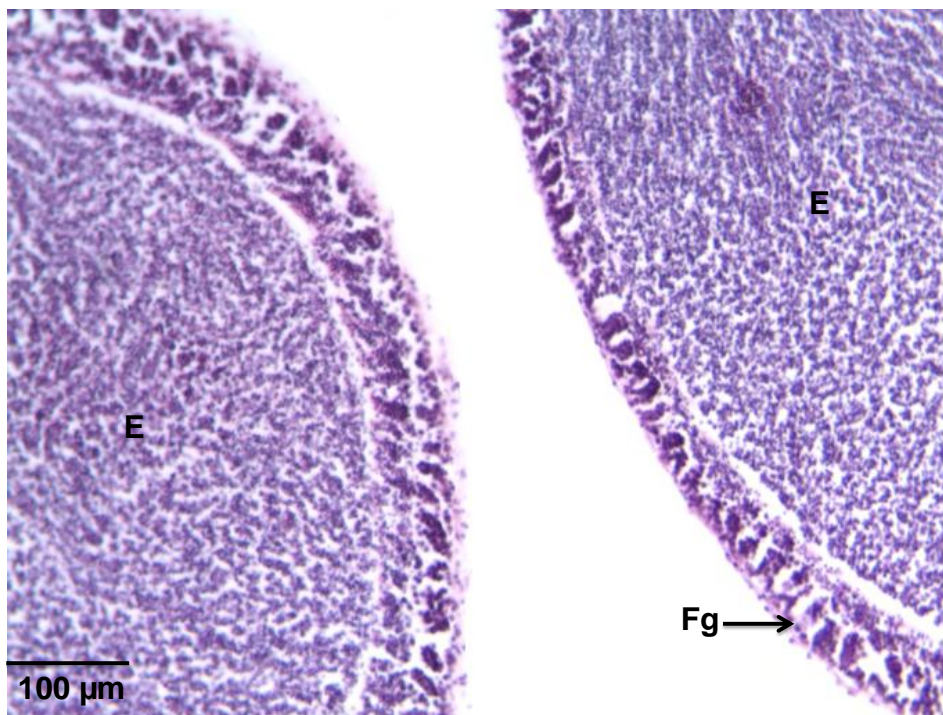


Figura 16. Gónada masculina en madurez de *Pharia pyramidatus* 20x. E, espermatozoides; Fg, fagocitos.

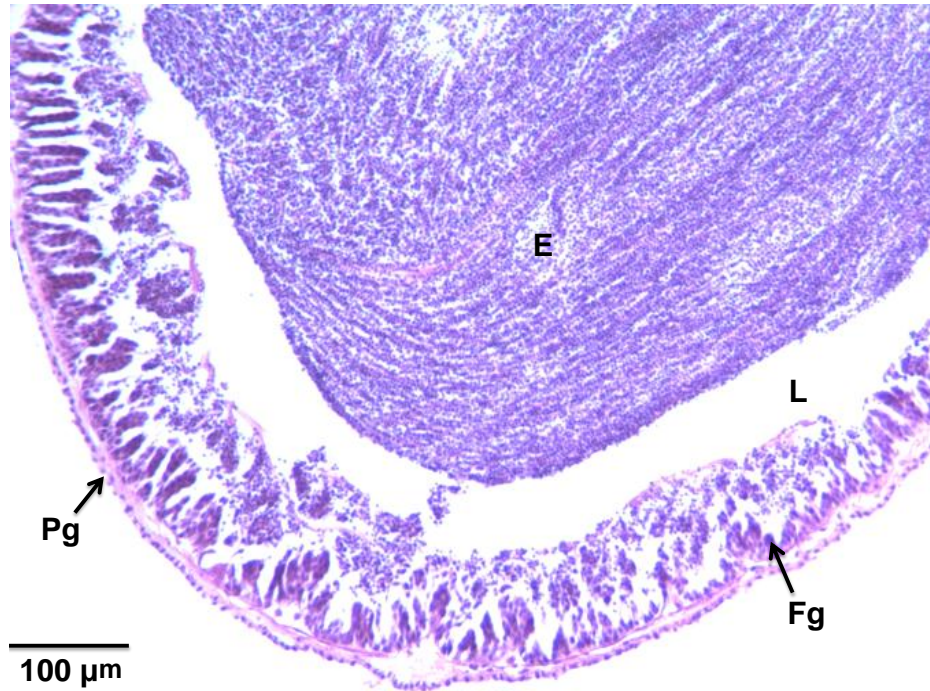


Figura 17. Gónada masculina en desove de *Pharia pyramidatus* 20x. Pg, pared gonadal; E, espermatozoides; L, lumen; Fg, fagocitos.

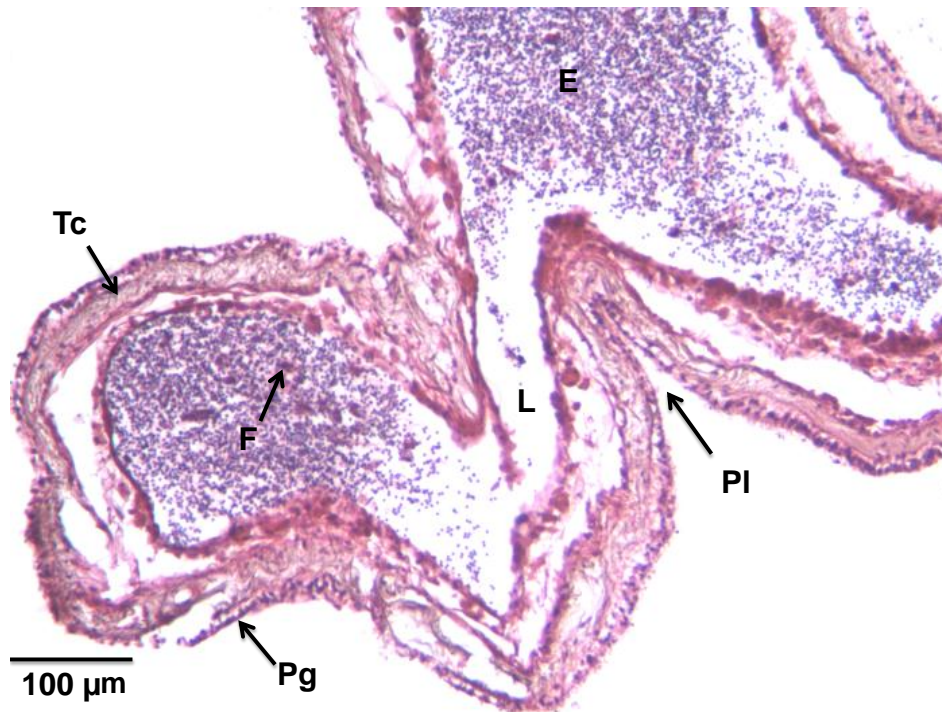


Figura 18. Gónada masculina en postdesove de *Pharia pyramidatus* 20x. Pl, pliegue; Pg, pared gonadal; Tc, Tejido conjuntivo; E, espermatozoides; L, lumen; Fg, fagocitos.

7.1.3 Hermafrodita

En mayo de 2010 se encontró un individuo hermafrodita en estadio de desarrollo. Se observa la presencia de gametos femeninos y masculinos en folículos separados (Fig.19).

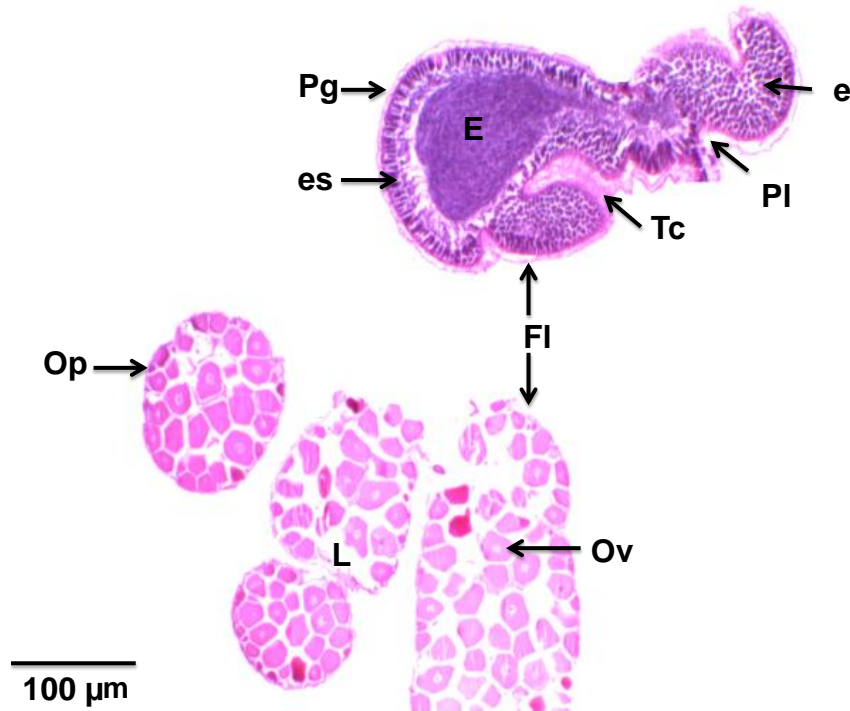


Figura 19. Gónada de un hermafrodita de *Pharia pyramidatus* 10x. Fl, folículo; P, pliegues; Pg, pared gonadal; Tc, Tejido conjuntivo; Op, ovocitos previtelogénicos; Ov, ovocitos maduros; e, espermátidas; e, espermátidas; E, espermatozoides; L, lumen.

7.1.4 Ciclo reproductivo

El desarrollo de la gónada se encontró de enero a junio (28.34%), con mayor frecuencia en abril y mayo. El mayor número de los individuos maduros se presentaron de mayo a septiembre (14.42%), con mayor frecuencia en junio y julio. Los primeros individuos en desove se observaron a partir de junio hasta diciembre (15.62%), alcanzando su máximo valor en agosto y septiembre (Fig. 20). Los estadios de postdesove se presentaron de septiembre a marzo (13.45%), con mayor frecuencia en octubre, mientras que el estadio indiferenciado (28.12%) se presentó casi todo el año a excepción de junio y julio. Esto indica que *P. pyramidatus* se reproduce de manera anual, presenta individuos maduros durante la temporada cálida e individuos en desove hasta principios de la temporada fría.

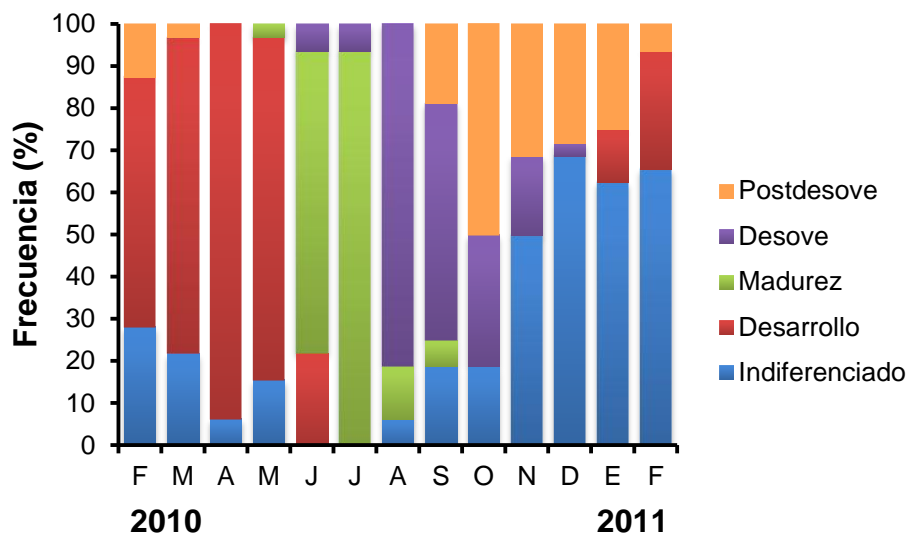


Figura 20. Ciclo reproductivo de *Pharia pyramidatus* en la Bahía de La Paz, B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011.

7.1.5 Índice gonadosomático en relación a las variaciones de la temperatura

El índice gonadosomático (*IG*) de las hembras fue ligeramente mayor que el de los machos, sin embargo no se presentaron diferencias significativas ($F_{1,239}=0.0079$; $p > 0.092$), entre ellos, excepto en julio ($F_{10,230}=24.991$; $p < 0.041$). Se observó que en los primeros meses del año, el *IG* se incrementó hasta alcanzar su máximo valor en julio, posteriormente fue disminuyendo y los valores más bajos se encontraron entre diciembre y abril. Al relacionar los valores del *IG* con los de la temperatura superficial del mar en el área de estudio, se detectó que el periodo de mayor importancia del desove se presentó en agosto, cuando disminuye drásticamente el *IG*, después de presentar altos valores, lo que concuerda con los mayores valores de la temperatura superficial del mar (Fig. 21). Al relacionar los resultados de *IG* y de la histología (Fig. 20) se observa un patrón parecido, por lo que se puede decir que cuando se presentan altas temperaturas en el área de estudio *Pharia pyramidatus* desova con mayor frecuencia. Por otro lado las gónadas indiferenciadas y en desarrollo, que tuvieron valores de *IG* bajos, coincidieron con las temperaturas bajas, características de la temporada fría en la zona.

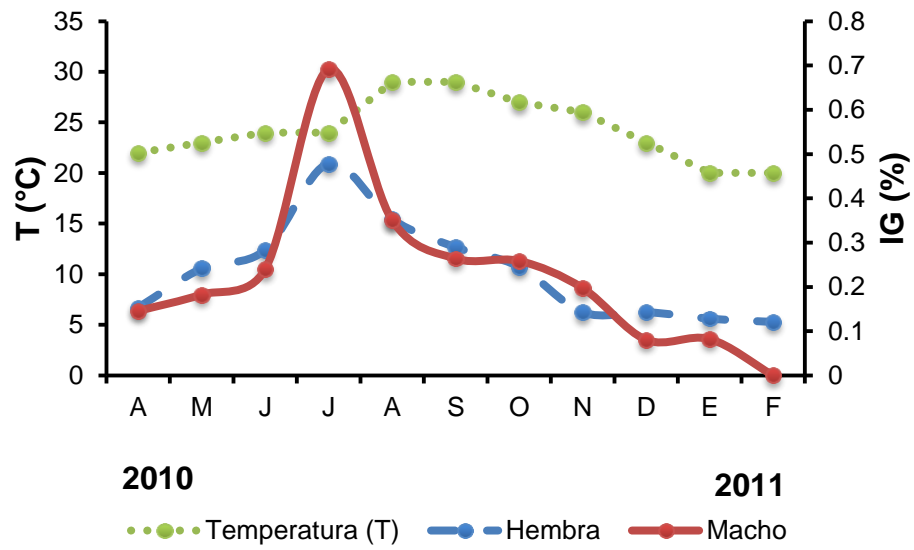


Figura 21. Índice gonadosomático de *Pharia pyramidatus* en relación a las variaciones de la temperatura en la Bahía de La Paz, B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011.

7.1.6 Talla de primera madurez

La talla de primera madurez sexual de *P. pyramidatus* se estimó a los 6.7 cm de longitud (Fig. 22) o a los cuatro años de edad, de acuerdo con el modelo de crecimiento utilizado en este estudio.

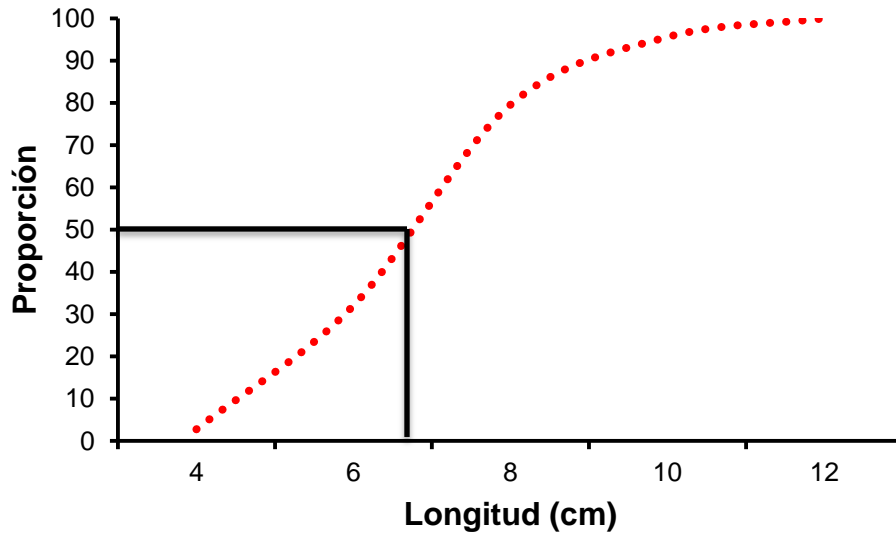


Figura 22. Talla de primera madurez sexual de *Pharia pyramidatus* en la Bahía de La Paz, B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011.

7.1.7 Curva de supervivencia

La curva de supervivencia indicó que durante el primer año de vida muere cerca del 21% del total de reclutas originales (Fig. 23), y aproximadamente el 37 % alcanza la edad de primera madurez.

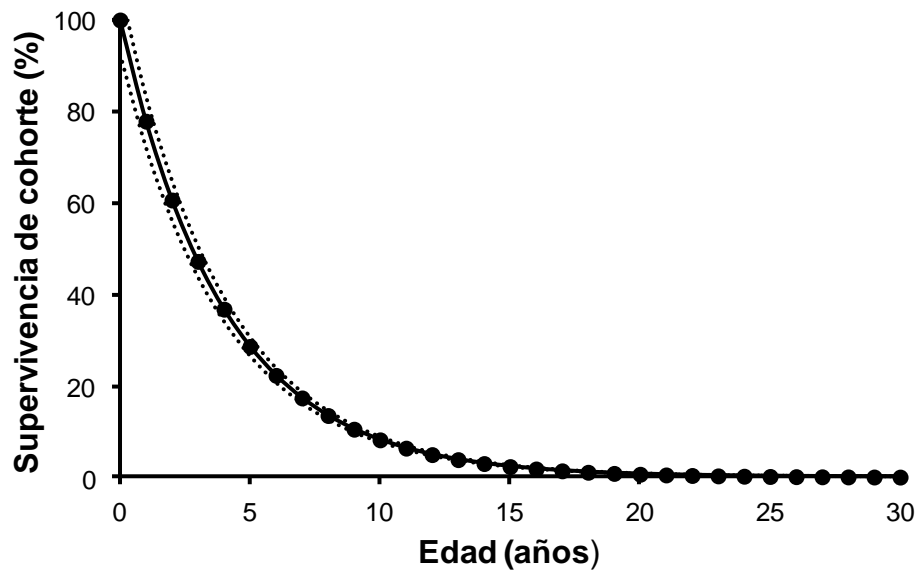


Figura 23. Curva de supervivencia de *Pharia pyramidatus* en la Bahía de La Paz, B.C.S., de febrero de 2010 a febrero de 2011.

8. DISCUSIÓN

Los equinodermos son considerados agentes organizadores de la comunidad en los ecosistemas marinos (Paine, 1969; Lawrence, 1975; Elnor & Vadas, 1990, Power *et al.*, 1996; Cinta-Buenrostro, 2001; Lessios *et al.*, 2001). En particular, aquellos que habitan las zonas arrecifales juegan un papel importante, ya que las variaciones en sus abundancias influyen en la estructura comunitaria (Reyes-Bonilla *et al.*, 2005; Benítez-Villalobos *et al.*, 2008; Herrero-Pérezrul *et al.*, 2008; Ríos-Jara *et al.*, 2008; Guzmán-Méndez, 2009). *Pharia pyramidatus* ocupa el segundo lugar en abundancia en el Pacífico mexicano y Golfo de California (Reyes-Bonilla *et al.*, 2005; Ríos-Jara *et al.*, 2008; Herrero-Pérezrul, 2008) y junto con *Phataria unifascialis*, ambas de la familia Ophidiasteridae, se encuentran distribuidas en la misma zona dentro del arrecife, sin que al parecer compitan entre ellas.

En la Bahía de La Paz las mayores abundancias de *P. pyramidatus* se presentaron durante los meses de verano, esta estrella se ha observado con mayor preferencia sobre fondos de roca, coral y arena (Reyes-Bonilla *et al.*, 2005; Guzmán-Méndez, 2009), en donde probablemente, la flexibilidad de sus brazos le da ventajas para esconderse debajo de las rocas o entre las ramas del coral. Esto favorece un medio adecuado para el reclutamiento (Aguillón-Negreros, 2011) y refugio contra depredadores. Sobre las rocas se forman tapetes algales que permiten una mayor disponibilidad de alimento; por otro lado, dentro de la Bahía de La Paz el aumento en la biomasa de macroalgas ocurre de manera estacional (Águila-Ramírez *et al.*, 2005), lo que podría explicar las altas abundancias de la estrella de mar durante el inicio y mediados del año (Fig. 3).

Algunos autores sugieren que *P. pyramidatus* es una especie omnívora (Martínez-García, 2010), mientras que Cintra-Buenrostro (2001) y Luna-Salguero & Reyes-Bonilla (2010), comentan que es herbívora. Observaciones de los estómagos realizadas durante la disección de algunos ejemplares de la especie, durante este estudio mostraron un contenido de material vegetal no identificable y muy digerido.

Este material indica que *P. pyramidatus* es posiblemente herbívora, lo cual refuerza la noción de su importancia como controlador de la biomasa de algas dentro del arrecife.

La densidad promedio de *Pharia pyramidatus* en este estudio fue de 0.069 ind/m², lo que contrasta con el valor de 0.002 ind/m², estimado para la especie en el Archipiélago Espíritu Santo por González-Medina *et al.* (2006). Cabe mencionar que estos autores realizaron muestreos estacionales y un menor número de transectos, por lo que dicha densidad quizá esté subestimada. Más recientemente, Guzmán-Méndez (2009) calculó una densidad de 0.25 ind/m² para la especie en la misma zona, y a pesar de que hizo muestreos estacionales, realizó un gran número de transectos, por lo que se puede deducir que esta especie presenta densidades menores a un individuo por metro cuadrado y que coincide con las densidades registradas en otras zonas del norte del Golfo de California y del Pacífico mexicano (Reyes-Bonilla *et al.*, 2005; Benítez-Villalobos *et al.*, 2008; Herrero-Pérezrul *et al.*, 2008; Ríos-Jara *et al.*, 2008). Por otro lado, *Phataria unifascialis*, presentó densidades de 0.48 ind/m² en la Bahía de La Paz (Herrera-Escalante, 2005) y de 0.004 ind/m² en el Archipiélago Espíritu Santo, B.C.S. (González-Medina *et al.*, 2006). Algunos autores señalan que la disponibilidad de alimento, topografía del área y nivel de depredación en el sitio (Morgan & Cowles, 1996), alteran la distribución y abundancia de algunos asteroideos, como es el caso de *Oreaster reticulatus*, cuya densidad varió en localidades cercanas como Las Luisas, Venezuela, con 0.0075 ind/m² y Mochima, Ven., con 0.2 ind/m² (Martin *et al.*, 2001). La abundancia depende de factores ambientales y de algunos factores relacionados con su dinámica poblacional, como las tasas de natalidad y mortalidad, inmigración y migración (Ebert, 1999).

Es posible que estas especies de equinodermos tropicales presenten variaciones en sus densidades en función de algunos factores ambientales como la temperatura, tipo de sustrato y disponibilidad estacional de alimento (biomasa de algas). Otro factor importante en el control de la abundancia poblacional de equinodermos es la depredación (Uthicke *et al.*, 2009). En función a esto, a la

estrella de mar *Phataria unifascialis* se le ha observado con mayor número de brazos amputados (posiblemente por mordidas) o en proceso de regeneración evidente (Herrera-Escalante, 2005). Los principales depredadores de equinodermos son peces (Guzmán, 1988) y algunos crustáceos como las langostas (Hernández-López, 2006). Cabe mencionar que durante los muestreos realizados en este estudio se observó que *Pharia pyramidatus* presentaba poco daño físico en los brazos, respecto a lo observado con *Phataria unifascialis* en la misma área de estudio (Herrera-Escalante, 2005). En este sentido, la coloración de esta especie puede resultar menos atractiva para los depredadores en la comunidad arrecifal (Berovides-Alvarez & Ortiz-Touzet, 1981; Martín *et al.*, 2001); se sabe que en la naturaleza el color amarillo representa una señal de peligro ante los depredadores, tanto en plantas como en animales (Eisner & Grant, 1981), fenómeno conocido como aposematismo.

La talla de *Pharia pyramidatus* se presentó en un intervalo de 4.2 a 14.9 cm en este estudio, menor a la reportada por Martínez-García (2010) en Isla Montosa, Oaxaca, donde las tallas fueron de 7 a 16 cm. Esta diferencia se ha visto en otros equinodermos como el erizo de mar *Diadema mexicanum*, que tiene el mismo ámbito de distribución (Maluf, 1988). Herrera-Escalante (2011) detectó que la talla de este erizo era menor en Cabo Pulmo, B.C.S. (0.68 cm) y mayor en Isla Isabel, Nayarit (7.78 cm), mientras que López-López (2011), menciona que la talla mínima es de 0.7 cm en Huatulco, Oaxaca y una talla máxima de 8.7 cm en Puerto Angel, Oax. Incluso en áreas cercanas se han observado variaciones en la talla de asteroideos como *Phataria unifascialis*, por ejemplo Herrera-Escalante (2005), registró un intervalo de tallas entre 4.7 y 13.9 cm en la misma área de estudio donde se realizó este trabajo (Fig. 1), mientras que Herrero-Pérezrul & Luna-Salguero (2011), encontraron una talla menor, de 6 a 9 cm en el Archipiélago Espíritu Santo en años posteriores, lo cual podría explicarse por la temperatura y disponibilidad de alimento que afectan el tamaño de los individuos.

La talla de los organismos se utiliza como base para estudiar el crecimiento de manera indirecta cuando no existe forma de usar métodos directos como por

ejemplo el marcado de individuos. Este proceso resulta fácil en animales con estructuras rígidas como esqueletos o anillos de crecimiento que puedan identificarse externa o internamente utilizando marcas físicas o químicas (como tetraciclinas y otras sustancias) (Ebert, 1978; Conand, 1990). Es importante mencionar que en experimentos realizados sobre el crecimiento de equinodermos, se detectó que éste podía estar sub o sobre estimado debido al estrés que provoca el cautiverio (Bos *et al.*, 2008).

A pesar de que los equinodermos, a excepción de los pepinos de mar, sí poseen estructuras rígidas, las marcas no han resultado muy eficientes, ya que el área donde se coloca la marca se necrosa hasta que ésta se cae, resultando en pérdidas de más del 90% de las marcas (Conand, 1990). Por esta razón se ha favorecido el uso de los métodos indirectos para analizar el crecimiento en este grupo desde hace 27 años (Shelley, 1985; Conand, 1988; Herrero-Pérezrul *et al.*, 1999; Herrera-Escalante, 2005; Montuy-Gómez, 2008).

Para evaluar el crecimiento en equinodermos, el modelo más utilizado es el de von Bertalanffy (Grosjean, 2001). De acuerdo con el modelo, *Pharia pyramidatus* creció rápido durante los primeros años de vida, disminuyendo su velocidad conforme se incrementa la talla hasta alcanzar una asíntota (Fig. 8). Este tipo de crecimiento acelerado durante las primeras etapas de vida es común en equinodermos de zonas tropicales y subtropicales (Pérez-Plascencia, 1995; Herrero-Pérezrul *et al.*, 1999; Herrera-Escalante, 2005; Montuy-Gómez, 2008). Halpern (1970), menciona que el crecimiento es acelerado después de la metamorfosis y reduce su intensidad conforme crece el organismo, además puede variar por condiciones como la temperatura del agua y disponibilidad de alimento.

En cuanto a la reproducción de *Pharia pyramidatus*, la ausencia de dimorfismo sexual externo hizo necesario examinar las gónadas macro y microscópicamente para determinar el sexo. En este estudio se observó que las hembras presentaron una gónada color amarillo claro y los machos crema blanco, diferente a lo encontrado por Martínez-García (2010) para la misma especie en Oaxaca; quién

reportó que las hembras presentaron gónadas de color naranja mientras que los machos fueron de color crema. Esta diferencia podría atribuirse al tipo de algas de las que se alimentan en cada zona. En Oaxaca predominan las rodofitas o algas rojas (Mateo-Cid & Mendoza-González, 1997), mientras que al sur de la Bahía de La Paz predominan las clorofitas o algas verdes (Águila-Ramírez *et al.*, 2005).

En la mayoría de los equinodermos la proporción sexual es de 1:1 (Conand, 1997; Herrero-Pérezrul, 2004; Herrera-Escalante, 2005; Skarbnik-López *et al.*, 2009; Martínez-García, 2010), lo que favorece las probabilidades de fertilización en la columna de agua. Además de una proporción sexual similar, algunas estrellas suelen agruparse cuando van a desovar, lo cual incrementa el éxito reproductivo (Mercier & Hamel, 2008). En el presente estudio, cuando las abundancias de *Pharia pyramidatus* fueron más altas (Fig. 3), los individuos se encontraron más cerca unos de otros. Esto podría indicar que tal vez *P. pyramidatus* también se agrupe para reproducirse. Otros asteroideos y holoturoideos presentan este comportamiento (Herrera-Escalante, 2005; Skarbnik-López *et al.*, 2009).

Otra peculiaridad de los equinodermos es la de presentar individuos hermafroditas en especies dioicas (Herrero-Pérezrul *et al.*, 1999; Herrera-Escalante, 2005). Algunos autores mencionan que el hermafroditismo podría representar una ventaja para las especies con fuertes presiones selectivas como, altos niveles de mortalidad natural o poblaciones sobre explotadas (Herrero-Pérezrul *et al.*, 1998). Esto incrementaría el número de ovocitos potenciales para fecundación cuando está reducido el número de individuos por las presiones mencionadas. Durante este estudio se encontró un individuo hermafrodita de *P. pyramidatus* en estadio en desarrollo (Fig. 19), lo cual podría ser reflejo de la extracción con fines artesanales y de acuarofilia que son llevadas a cabo sin medidas de control apropiado (Sáenz-Arroyo & Fernández-Rivera Melo, 2010).

En este estudio se observaron los cinco estadios gonádicos característicos de los equinodermos (Conand, 1990; Herrero-Pérezrul *et al.*, 1999; Herrera-Escalante, 2005; Martínez-García, 2010). Se ha observado que en los equinodermos, a

diferencia de otros invertebrados la presencia de fagocitos es notoria durante los cinco estadios, esto se explica ya que los equinodermos carecen de un sistema de almacén de nutrientes por lo que los fagocitos reabsorben todo tipo de células que no fueron viables o que no fueron liberadas durante el desove (Hyman, 1955; Lawrence, 1987; Conand, 1990; Herrero-Pérezrul *et al.*, 1999; Herrera-Escalante, 2005). Otra característica importante de los equinodermos tropicales que se reproducen una vez al año, es que son capaces de reabsorber casi en su totalidad el tejido gonádico. Durante este estudio las gónadas de *Pharia pyramidatus* que estuvieron en estadio de postdesove e indiferenciado presentaron valores bajos del *IG* (Fig. 20), y durante la descripción histológica se observó una gran cantidad de fagocitos.

Otra característica de las gónadas de los equinodermos es la presencia de pliegues en el estadio de desarrollo. Este proceso parece ser común en el grupo, y los autores mencionan que esto incrementa el área dentro del lumen para una mayor producción de gametos (Tyler *et al.*, 1985; Cameron & Fankboner, 1986; Costelloe, 1988; Herrero-Pérezrul *et al.*, 1999).

La estrella de mar *P. pyramidatus* presentó un ciclo reproductivo anual en la Bahía de La Paz durante este estudio. La madurez se observó cuando la temperatura del agua se estaba elevando y el desove ocurrió primordialmente en agosto, cuando la temperatura alcanzó los 29°C (Fig. 21). Este patrón de reproducción es común en otros equinodermos tropicales. La temperatura se considera como el factor más importante para la reproducción, ya que sincroniza la madurez y el desove (Bakus, 1973; Giese & Pearse, 1974; Byrne *et al.*, 1997; González-Peláez, 2001; Guzmán & Guevara, 2002; Herrera-Escalante, 2005; Georgiades *et al.*, 2006; Skarbnik-López *et al.*, 2009; Martínez-García, 2010).

En el presente estudio, se observaron dos hembras en postdesove en mayo de 2010, cuando este estadio se observó principalmente entre los meses de octubre y noviembre (Fig. 20). Esto explicaría la frecuencia de aparición de organismos pequeños en todo el periodo de muestreo, aunque se encontraron con mayor

frecuencia durante los meses fríos (Fig. 6). Esto pudiera estar relacionado con la abundancia estacional de macroalgas que es mayor durante el verano e invierno (Águila-Ramírez *et al.*, 2005) y la mayor presencia de fitoplancton durante los meses fríos (Martínez-López *et al.*, 2001). Aguillón-Negreros (2011) detectó la presencia de reclutas de equinodermos en zonas cercanas al lugar de estudio entre septiembre 2010 y febrero 2011, probablemente en relación con la mayor disponibilidad de alimento. Esto denota que la reproducción es un proceso influenciado por la temperatura del agua y la disponibilidad de alimento como ha sido reportado con otros asteroideos (Giese & Pearse, 1974; Lawrence, 1987).

La estrella de mar *P. pyramidatus* presentó una talla de primera madurez de 6.7 cm de longitud del brazo equivalente a cuatro años de edad según el modelo de crecimiento utilizado. Por otro lado la proporción de individuos maduros en una población no siempre es la más elevada (Herrero-Pérezrul *et al.*, 1999; Guzmán & Guevara, 2002), en particular en aquellas especies que son sujetas a explotación. Uno de los efectos de la sobrepesca es la reducción de las tallas (Sparre & Venema, 1995), lo cual implica que muchas veces los ejemplares no hayan madurado sexualmente y la población tiende al colapso, debido a que disminuyen incontrolable sus abundancias debido al mal manejo. La talla de captura es considerada una de las medidas de control más importantes, porque favorece la captura de organismos que ya hayan dejado descendencia (Sáenz-Arroyo & Fernández-Rivera Melo, 2010; Sánchez-Villalobos *et al.*, 2011). Por lo que la talla mínima de captura se considera cuando los individuos maduran sexualmente.

Otro indicador de la reproducción es el índice gonadosomático. En este estudio *Pharia pyramidatus* presentó altos valores del IG en julio 2010, coincidiendo con el inicio de la elevación de la temperatura del agua. Los valores más altos de temperatura se alcanzaron en agosto, coincidiendo con una disminución del IG característico del estadio de desove (Fig. 21). Esto mismo se observó en la estrella *Phataria unifascialis* en la Bahía de La Paz (Herrera-Escalante, 2005) y en el pepino de mar *Selenkothuria lubrica* (Skarbnik-López *et al.*, 2009). Tal vez por la incidencia de frentes fríos y vientos durante los meses de fríos que originan la capa de mezcla

en la columna de agua, lo que aumenta los nutrientes hacia la zona eufótica y promueve el incremento del fitoplancton, así como en la temporada cálida (Martínez-López *et al.*, 2001; Reyes-Salinas *et al.*, 2003). Estas condiciones posiblemente favorezcan el aumento del índice gonadosomático. Así mismo la estacionalidad de las macroalgas dentro de la Bahía de La Paz (Águila-Ramírez *et al.*, 2005) permita la disponibilidad de alimento para las larvas y reclutas de *Pharia pyramidatus*.

La tasa de mortalidad en los equinodermos se ve afectada por factores naturales como la depredación y enfermedades (Rumrill, 1989; Herrero-Pérezrul *et al.*, 1999; Herrera-Escalante, 2005). En este estudio se estimó una tasa de mortalidad de 0.25, donde alrededor del 21% de la población muere en el primer año de vida y aproximadamente el 37% alcanza la edad de primera madurez (Fig. 23). En México solo existe otro trabajo que presente valores de mortalidad y es para *Phataria unifascialis* en la misma zona de estudio. Esta especie presentó una tasa de mortalidad de 0.32, donde se pierde alrededor del 30% de individuos en el primer año de vida y cerca del 55% alcanza la talla de primera madurez (Herrera-Escalante, 2005). Probablemente para ambos casos el número de sobrevivientes este influenciado por la presencia de depredadores a lo largo de su vida en la comunidad arrecifal.

Con lo antes mencionado se puede decir que *Pharia pyramidatus* es una especie abundante en el área de estudio, que crece rápido durante las primeras etapas de vida y se reproduce una vez al año coincidiendo, el desove con la temperatura más elevada.

9. CONCLUSIONES

- ★ *Pharia pyramidatus* es una especie abundante en el área de estudio, con densidades menores a un individuo por metro cuadrado.
- ★ Presenta un crecimiento rápido los primeros años de vida y una madurez sexual tardía, a los cuatro años de edad (6.7 cm).
- ★ Es una especie gonocórica con una proporción sexual de 1:1.
- ★ Presenta un ciclo reproductivo anual, con un pico máximo de desove durante la temporada cálida.
- ★ La mayor frecuencia de organismos en desove se encontraron en los meses más cálidos, por lo que se considera a la temperatura del agua como disparador del desove.

10. RECOMENDACIONES

Dado que *Pharia pyramidatus* es extraída comercialmente con pocas medidas de control, a partir de la información generada se proponen las siguientes medidas. Dado que la especie se reproduce de manera anual, se sugiere una veda entre los meses de julio y septiembre.

Se recomienda una talla mínima de captura de 8.5 cm de longitud del brazo cuando la especie ya alcanzó su madurez sexual.

Se recomienda que se lleven registros de la captura y la talla de las estrellas capturadas en una sola bitácora. También es importante el monitoreo de la talla de los individuos en la población silvestre, ya que esta información puede ayudar a detectar a tiempo los primeros síntomas de sobre explotación.

Se recomienda que se mantenga el monitoreo de las abundancias y la determinación de cuotas de captura.

11. BIBLIGRAFÍA

- Águila-Ramírez, R.N., M. Casas-Valdez, C.J. Hernández-Guerrero & A. Martín-Álvarez. 2005. Biomasa de *Ulva* spp. (Chlorophyta) en tres localidades del malecón de La Paz, Baja California Sur, México. *Rev. Biol. Mar. y Oceanogr.*, 40(1):55-61.
- Aguillón-Negreros, A. 2011. *Variación espacio-temporal del reclutamiento de moluscos y equinodermos (Mollusca, Echinodermata) en la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México*. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, México, 45 p.
- Almada-Villela, P.C., P.F. Sale, G. Gold-Bouchot & B. Kjerfve. 2003. Manual de métodos para el programa de monitoreo sinóptico del SAM. *Proyecto para el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM)*. Coastal Resources Multi-Complex Building, Ciudad de Belice, Belice, 149.
- Bakus, G.J. 1973. The biology and ecology of tropical holothurians, 325-367. En: Jones O. A. & R. Endean (Ed.) *Biology & geology of coral reefs*, Vol. II. Biology I, Academic Press, New York, 480 p.
- Benítez-Villalobos, F., J. Díaz-Martínez & P.A. Tyler. 2007. Biología reproductiva del Asteriideo de mar profundo *Henricia abyssicola* en el Atlántico NE. *Cienc. Mar.*, 33(1):49-58.
- Benítez-Villalobos, F., E. Castillo-Lorenzano & G.S. González-Espinoza. 2008. Listado taxonómico de los equinodermos (Echinodermata: Asteroidea y Echinoidea) de la costa de Oaxaca en el Pacífico sur mexicano. *Rev. Biol. Trop.*, 56 (3):75-81.

- Berovides-Alvarez, V. & M. Ortiz-Touzet. 1981. Polimorfismo del color en la estrella de mar *Oreaster reticulatus* (Echinodermata: Asteroidea). *Rev. Invest. Mar.*, 1:27-42.
- Bos, A.R., G.S. Gumanao, J.C.E. Alipoyo & L.T. Cardona. 2008. Population dynamics, reproduction and growth of the Indo-Pacific horned sea star, *Protoreaster nodosus* (Echinodermata; Asteroidea). *Mar. Biol.*, 156(1):55-63.
- Brusca, R.C. & G.J. Brusca. 1990. *Invertebrates*. Sinauer, Massachusetts, 992 p.
- Byrne, M. 1996. Viviparity and intragonadal cannibalism in the diminutive sea stars *Patiriella vivipara* and *P. parvivipara* (family Asterinidae). *Mar. Biol.*, 125:551-567 pp.
- Byrne, M., M.G. Morrice & B. Wolf. 1997. Introduction of the northern Pacific asteroid *Asterias amurensis* to Tasmania: reproduction and current distribution. *Mar. Biol.*, 127(4): 673-685.
- Calva, L.G. 2002. Hábitos alimenticios de algunos equinodermos. Parte 1. Estrellas de mar y estrellas serpiente. *Contactos*, 46:59-68.
- Cameron, J.L. & P.V. Fankboner. 1986. Reproductive biology of the commercial sea cucumber *Parastichopus californicus* (Stimpson) (Echinodermata: Holothuroidea). I. Reproductive periodicity and spawning behavior. *Can. J. Zool.*, 64:168-175.
- Chávez, E.A. 1995. La mortalidad natural y su relación con la tasa de crecimiento y la longevidad. *Jaina*, 6(2):3.
- Chester, R.H. 1969. Destruction of Pacific Corals by the sea star *Acanthaster planci*. *Science*, 165(3890):280-283.
- Cintra-Buenrostro, C.E. 2001. Los Asteroideos (Echinodermata: Asteroidea) de aguas someras del Golfo de California, México. *Oceánides*, 16:49-90.

- Csirke, J. 1980. Introducción a la dinámica de poblaciones de peces. FAO Doc. Tec. No. 192. 82 p.
- Conand, C. 1990. The fishery resources of Pacific island countries. Part 2. Holothurians. *FAO Fisheries Technical Paper*, 272.2. 143 p.
- Costelloe, J. 1988. Reproductive cycle, development and recruitment of two geographically separated populations of the dendrochirote holothurian *Aslia lefevrei*. *Mar. Biol.*, 99(4):535-545.
- Ebert, T.A. 1978. Growth and Size of the Tropical Sea Cucumber Holothuria (*Halodeima*) atra Jaeger, at Enewetak Atoll, Marshall Islands. *Pac. Sci.*, 32(2): 183-191.
- Ebert, T.A. 1999. *Plant and animal populations: methods in demography*. Academic Press, San Diego, 312 p.
- Eisner, T. & R.P. Grant. 1981. Toxicity, odor aversion and olfactory aposematism. *Science*, 213(4056):476.
- Elnor, R.W. & R.L. Vadas. 1990. Inference in ecology: the sea urchin phenomenon in the northwestern Atlantic. *Am. Nat.*, 136(1):108–125.
- Fraser, C.M. 1943. General account of the scientific work of the Velero III in the eastern Pacific, 1931-41. Part II. Geographical and Biological Associations. *Allan Hancock Pacific Expeditions*, 1(2):49-258.
- Freeman, S.M., C.A. Richardson & R. Seed. 2001. Seasonal abundance, spatial distribution, spawning and growth of *Astropecten irregularis* (Echinodermata: Asteroidea). *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 53(1):39-49.
- Gayanillo Jr. F.C., P. Sparre & D. Pauly. 2005. FAO-ICLARM Stock Assessment Tools II (FiSAT II). User's guide. FAO Computerized information Series (Fisheries). No. 8, Revised version. FAO, Roma, Italia.

- Georgiades, E.T., A. Temara & D.A. Holdway. 2006. The reproductive cycle of the asteroid *Coscinasterias muricata* in Port Phillip Bay, Victoria, Australia. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 332(2):188–197.
- Giese, C.A. & J.S. Pearse. 1974. *Reproduction of marine invertebrates*. Academic Press, New York, 344 p.
- Glynn, P.W. 1973. *Acanthaster*: Effect on Coral Reef Growth in Panama. *Science*, 180(4085):504-506.
- González-Medina, F.J., O.E. Holguín-Quiñones & G. de La Cruz Agüero. 2006. Variación espaciotemporal de algunos macroinvertebrados (Gastropoda, Bivalvia y Echinodermata) de fondos someros del Archipiélago Espíritu Santo, Baja California Sur, México. *Cienc. Mar.*, 32(1A):33-44.
- González-Peláez, S.S. 2001. *Biología poblacional del erizo café Tripneustes depressus A. Agassiz, 1863 (Echinodermata: Echinoidea), en el Sur del Golfo de California Sur*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, México, 28 p.
- Grosjean, P. 2001. *Growth model of the reared sea urchin Paracentrotus lividus (Lamarck, 1816)*. Tesis de doctorado. Université Libre de Bruxelles, Francia, 210 p.
- Gulland J.A. & A.A. Rosenberg. 1992. Examen de los métodos que se basan en la talla para evaluar las poblaciones de peces. FAO. Roma, 32-46.
- Guzmán, H.M. 1988. Distribución y abundancia de organismos coralívoros en los arrecifes coralinos de la isla del Caño, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 36(2A):191-207.
- Guzmán, H.M. & C.A. Guevara. 2002. Annual reproductive cycle, spatial distribution, abundance, and size structure of *Oreaster reticulatus* (Echinodermata: Asteroidea) in Bocas del Toro, Panama. *Mar. Biol.*, 141:1077-1084.

- Guzmán-Méndez, I.A. 2009. *Estructura de las asociaciones de algunos invertebrados del Archipiélago Espíritu Santo, Baja California Sur, México*. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, México, 23 p.
- Halpern, J.A. 1970. Growth rate of the tropical sea star *Luidia senegalensis* (Lamarck). *Bull. Mar. Sci.*, 20(3):626-633.
- Hamel, J.F., R.Y. Hidalgo & A. Mercier. 2003. Larval development and juvenile growth of the Galápagos sea cucumber *Isostichopus fuscus*. *S P C Beche-de-mer Information Bull.*, 18:3-8.
- Harrison, F.W. & F.S. Chia. 1994. *Microscopic anatomy of invertebrates*. Echinodermata, Wiley-Liss, 510 p.
- Herrera-Escalante, T. 2005. *Dinámica poblacional y reproducción de la estrella de mar Phataria unifascialis* (Gray 1840) (Echinodermata: Asteroidea) en *Pichilingue, Bahía de La Paz, Baja California Sur, México*. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, México, 79 p.
- Herrera-Escalante, T. 2011. *Potencial bioerosivo de Diadema mexicanum* (Echinodermata: Echinoidea) en cuatro arrecifes del pacífico mexicano. Tesis de doctorado. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, México, 89 p.
- Herrero-Pérezrul, M.D, H. Reyes-Bonilla & F. García-Domínguez. 1998. Causal hermaphroditism in gonochoric *Isostichopus fuscus* (Ludwing, 1875) (Echinodermata: Holothuroidea) of the southern Gulf of California, México. *Bull. Mar. Sci.*, 63(3):611-615.
- Herrero-Pérezrul, M.D, H. Reyes-Bonilla, F. García-Domínguez & C.E. Cintra-Buenrostro. 1999. Reproduction and growth of *Isostichopus fuscus*

(Echinodermata: Holothuroidea) in the southern Gulf of California, Mexico. *Mar. Biol.*, 135 (3):521-532.

Herrero-Pérezrul, M.D. & E.A. Chávez. 2005. Optimum fishing strategies for *Isostichopus fuscus* (Echinodermata: Holothuroidea) in the Gulf of California, México. *Rev. Biol. Trop.*, 53 (2): 357-366.

Herrero-Pérezrul, M.D., H. Reyes-Bonilla, A. González-Azcárraga, C.E. Cintra-Buenrostro & A. Rojas-Sierra. 2008. Equinodermos, 339-362. *En: Ezcurra E. & G.D. Danemann (Eds.) Bahía de Los Ángeles: recursos naturales y comunidad. Línea base 2007. PRONATURA, México, 740 p.*

Herrero- Pérezrul, M.D. 2008. Diversity and abundance of reef macro invertebrates (Mollusca; Echinodermata) in the southern Gulf of California, México. 11th Symposium International Coral Reef, Florida, E.U.A. 1343-1347.

Herrero-Pérezrul, M.D. & P.A. Álvarez del Castillo. 2011. Un lustro de monitoreo de equinodermos arrecifales en Cozumel, México: Tendencias en su abundancia y diversidad. 1th Symposium Latinoamericano de Equinodermos, Puerto Madryn, Argentina. 51 p.

Herrero-Pérezrul, M.D & B.M Luna-Salguero. 2011. Análisis de la relación entre *Phataria unifascialis* (Asteroidea) y *Thyca callista* (Gastropoda) dentro del Parque Nacional Archipiélago Espíritu Santo, B.C.S. México. 1th Symposium Latinoamericano de Equinodermos, Puerto Madryn, Argentina. 80 p.

Holguín-Quiñones, O.E., H. Wright-López & F.A. Solís-Marín. 2000. Asteroidea, Echinoidea y Holothuroidea en fondos someros de la Bahía de Loreto, Baja California Sur, México. *Rev. Biol. Trop.*, 48(4):749-757.

Honey-Escandón M., F.A. Solís-Marín & A. Laguarda-Figueras. 2008. Equinodermos (Echinodermata) del Pacífico Mexicano. *Rev. Biol. Trop.*, 56(3): 57-73.

- Hooker, Y., F.A. Solís-Marín & M. Llellish. 2005. Equinodermos de las Islas Lobos de Afuera (Lambayeque, Perú). *Rev. Per. Biol.*, 12(1):77-82.
- Humason, G.L. 1979. *Animal Tissue Techniques*. Freeman and Company Hardbound. San Francisco, 661 p.
- Hyman, L.H. 1955. *The invertebrates: Echinodermata, the coelomate bilateria*. McGraw-Hill, New York, 763 p.
- Jensen, A.L. 1997. Origin of the relation between K and Linf and synthesis of relations among life history parameters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 54:987-989.
- Lawrence, J.M. 1975. On the relationships between marine plants and sea urchins. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 13 (13):213–286.
- Lawrence, J.M. 1987. *A functional biology of echinoderms*. Croom Helm, Londres, 340 p.
- Lessios, H.A., M.J. Garrido & B.D. Kessing. 2001. Demographic history of *Diadema antillarum*, a keystone herbivore on Caribbean reefs. *Proc. Biol. Sci.*, 268(1483):2347–2353.
- López-López, D.A. 2011. *Bioerosión provocada por el erizo Diadema mexicanum A. Agassiz, 1863 en las localidades de Oaxaca y Guerrero, México*. Tesis de licenciatura. Universidad del Mar. Puerto Angel, México, 54 p.
- Luna-Salguero, B.M. & H. Reyes-Bonilla. 2010. Estructura comunitaria y trófica de las estrellas de mar (Echinodermata: Asteroidea) en arrecifes rocosos de Loreto, Golfo de California, México. *Hidrobiología*, 20(2):127-134.
- Maluf, L.Y. 1988. *Composition and distribution of the central eastern Pacific Echinoderms*. Nat. Hist. Mus. Los Angeles Co. Tech. Rep, 2. 241 p.
- Martin, A., P. Penchaszadeh & D. Atienza. 2001. Densidad y hábitos alimentarios de *Oreaster reticulatus* (Linnaeus, 1758) (Echinodermata, Asteroidea) en praderas

- de fanerógamas marinas de Venezuela. *Bol. Inst. Esp. Oceangr.*, 17 (1 y 2):203-208.
- Martínez-García, M. 2010. *Patrones reproductivos de Pharia pyramidatus (Gray, 1940) (Echinodermata: Asteroidea) en Isla Montosa, Pacífico Tropical Mexicano*. Tesis de licenciatura. Universidad del Mar. Puerto Angel, México, 48 p.
- Martínez-López, A., R. Cervantes-Duarte, A. Reyes-Salinas & J. E. Valdez-Holguín. 2001. Cambio estacional de clorofila a en la Bahía de La Paz, B.C.S., México. *Hidrobiológica*, 11(1):45-52.
- Mateo-Cid, L.E. & A.C. Mendoza-González. 1997. Nuevos registros de algas marinas para Oaxaca, México. *Polibotánica*, 4:54-74.
- McClanahan, T.R. & N.A. Muthiga. 1989. Patterns of predation on a sea urchin, *Echinometra mathaei* (de Blainville), on Kenyan coral reefs. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 126(1):77-94.
- Mercier, A. & J.F. Hamel. 2008. Depth-related shift in life history strategies of a brooding and broadcasting deep-sea asteroid. *Mar. Biol.*, 156 (2):205-223.
- Mercier, A. & J.F. Hamel. 2009. *Endogenous and exogenous control of gametogenesis and spawning in echinoderms*. Advances in Marine Biology, Canada, 291 p.
- Meretta, P.E., M. Cledón & C.R.R. Ventura. 2011. Caracterización de patrones de coloración de *Asterina stellifera* (Möbius, 1859) (Asteroidea: Asterinidae). 1th Symposium Latinoamericano de Equinodermos, Puerto Madryn, Argentina. 82 p.
- Montuy-Gómez, D. 2008. *Dinámica poblacional de Holothuria kefersteini (Echinodermata: Holothuroidea) en Punta Galeras, B.C.S., México*. Tesis de

licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, México, 34 p.

Morgan, M.B. & D.L. Cowles. 1996. The effects of temperature on the behavior and physiology of *Phataria unifascialis* (Gray) (Echinodermata: Asteroidea) implications for the species distribution in the Gulf of California, México. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 208(1):13-27.

Neira, R. & J.R. Cantera. 2005. Composición taxonómica y distribución de las asociaciones de equinodermos en los ecosistemas litorales del Pacífico Colombiano. *Rev. Biol. Trop.*, 53(3):195-206.

Nuño-Hermosillo, A. 2003. *Ecología poblacional, ciclo reproductivo e historia de la pesquería del pepino de mar Isostichopus fuscus (Ludwing, 1875) (Echinodermata: Holothuroidea) en Bahía Chamela, Jalisco, México*. Tesis de maestría. Universidad de Guadalajara. Zapopan, México, 111 p.

Obeso-Nieblas, M., B. Shirasago-Germán, E. Pérez-Lezama, A. Jiménez-Illescas, J. Gaviño-Rodríguez & H. Obeso-Huerta. 2008. Variabilidad hidrográfica en Bahía de La Paz, Golfo de California, México (1995-2005). *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 43(3):559-567.

Pain, S.L., P.A. Tyler & J.D. Gage. 1982. The reproductive biology of *Hymenaster membranaceus* from Rockall Trough, North-East Atlantic Ocean, with notes on *H. gennaeus*. *Mar. Biol.*, 70 (1):41-50.

Paine, R.T. 1969. A note on trophic complexity and community stability. *Am. Nat.*, 103(929):91-93.

Pauly, D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *J. Mar. Sci.*, 39(2):175-192.

- Pérez-Plascencia, G. 1995. *Crecimiento y reproducción del pepino de mar Parastichopus parvimensis en la Bahía de Todos Santos, Baja California, México*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, México, 21 p.
- Powell, D.G. 1979. Estimation of mortality and growth parameters from the length frequency of a catch. *Rapp. P. V. Reun. CIEM*. 175:167-169.
- Power, M.E., D. Tilman, J.A. Estes, B.A. Menge, W. J. Bond, L.S. Mills, G. Daily, J.C. Castilla, J. Lubchenco & R.T. Paine. 1996. Challenges in the quest for keystones. *BioScience*, 46 (8):609–620.
- Pratchett, M.S., T.J. Schenk, M. Baine, C. Syms & A.H. Baird. 2009. Selective coral mortality associated with outbreaks of *Acanthaster planci* L. in Bootless Bay, Papua New Guinea. *Mar. Environ. Res.*, 67(4):230–236.
- Reyes-Bonilla, H., A. González-Azcárraga & A. Rojas-Sierra. 2005. Estructura de las asociaciones de las estrellas de mar (Asteroidea) en arrecifes rocosos del Golfo de California, México. *Rev. Biol. Trop.*, 53(3):233-244.
- Reyes-Salinas, A., R. Cervantes-Duarte, R.A. Morales-Pérez & J.E. Valdez-Holguín. 2003. Variabilidad estacional de la productividad primaria y su relación con la estratificación vertical en la Bahía de La Paz, B.C.S. *Hidrobiológica*, 13(2):103-110.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board Can.*, 191:1-382.
- Rikhter, V.A. & V.N. Effanov. 1976. On one of the approaches for estimating natural mortality in fish populations. *ICNAF Res. Doc*, 76(6)8: 1-12.
- Ríos-Jara, E., C.M. Galván-Villa & F.A. Solís-Marín. 2008. Equinodermos del Parque Nacional Isla Isabel, Nayarit, México. *Rev. Mex. Biodiv.*, 79(1):131-141.

- Rubilar, T., C. Pastor, & E. Díaz de Vivar. 2005. Timing of fission in the starfish *Allostichaster capensis* (Echinodermata: Asteroidea) in laboratory. *Rev. Biol. Trop.*, 53(3):299-303.
- Rumrill, S.S. 1989. Population size-structure, juvenile growth, and breeding periodicity of the sea star *Asterina miniata* in Barkeley Sound, British Columbia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 56:37-47.
- Rupert, P. & P. Barnes. 1969. *Zoología de los invertebrados*. McGraw-Hill, México. 941 p.
- Sáenz-Arroyo, A. & F.J. Fernández-Rivera Melo. 2010. Reporte plan de manejo para la pesquería de ornato con un enfoque de ecosistema. B.C.S. *DGVS*, 1-35 p.
- Sánchez-Villalobos, E.E., M.D. Herrero-Pérezrul & T. Herrera-Escalante. 2011. Medidas de manejo para la explotación artesanal de estrellas de mar en La Paz, B.C.S., México. VI Congreso mexicano de arrecifes de coral. Ensenada, B.C., México, 56 p.
- Scheffler, W.C. 1979. *Statistics for the Biological Sciences*. Addison-Wesley. Massachusetts, 230 p.
- Shelley, C. 1985. Growth of *Actynopyga echinites* and *Holothuria scabra* (Holothuroidea: Echinodermata) and their fishery potential (as Bêche-de-mer) in Papua, New Guinea. 5th Symposium International Coral Reef, Tahiti. 297-302.
- Shepherd, J.G. 1987. A weakly parametric method for estimating growth parameters from length composition data. En Pauly D. & G.R. Morgas (Eds.) Length-based methods in Fisheries Research, ICLARM Conf. Proc., (13): 113-119.
- Skarbnik-López, J., M.D. Herrero-Pérezrul, H. Reyes-Bonilla, F. García-Domínguez & J. Turrubiates Morales. 2009. Reproductive cycle of *Holothuria (Selenkothuria) lubrica* Selenka, 1867 (Echinodermata: Holothuroidea) in Bahía de La Paz, México. 11th Symposium on Coral Reef , Florida, E.U.A. 487-493.

- Smirnov, A.V., A.V. Gebruk, S.V. Galkin & T. Shank. 2000. New species of *holothurian* (Echinodermata: Holothuroidea) from hydrothermal vent habitats. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 80:321-328.
- Solís-Marín, F.A., M.D. Herrero-Pérezrul, A. Laguarda-Figueras & J. Torres-Vega. 1993. Asteroideos y equinoideos de México (Echinodermata), 91-105. *En: Salazar-Vallejo S.I. & N.E. González (Eds.) Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Centro de Investigaciones de Quintana Roo, México*, 865 p.
- Solís-Marín, F.A., H. Reyes-Bonilla, M.D. Herrero-Pérezrul, O. Arizpe-Cobarrubias & A. Laguarda-Figueras. 1997. Sistemática y distribución de los equinodermos de la Bahía de La Paz. *Cienc. Mar.*, 23:249-263.
- Solís-Marín, F.A. & A. Laguarda-Figueras. 1999. *Cucumaria flamma*, a new species of sea cucumber from the Central Eastern Pacific (Echinodermata: Holothuroidea). *Proc. Biol. Soc. Wash.*, 112:778-786.
- Solís-Marín, F.A., A. Laguarda-Figueras, A. Durán-González, C. Gust-Ahearn & J. Torres-Vega. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Golfo de California, México. *Rev. Biol. Trop.*, 53(3):123-137.
- Somerton, D.A. 1980. A computer technique for estimating the size of sexual maturity in crabs. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37:1488-1494.
- Sparre, P. & S.C. Venema. 1995. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. *FAO Documento técnico de pesca*, No. 306/1. DANIDA-FAO, Roma.
- Tyler, P.A., A. Muirhead, D.S.M. Billet & J.D. Gage. 1985. Reproductive biology of the deep-sea holothurians *Laetmogone violacea* and *Benthogone rosea* (Elasipoda: Holothuroidea). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 23:269-277.

- Uthicke, S., B. Schaffelke & M. Byrne. 2009. A boom-bust phylum? Ecological and evolutionary consequences of density variations in echinoderms. *Ecol. Monogr.*, 79 (1):3-24.
- Weber, J.N. & P.M.J. Woodhead. 1970. Ecological studies of the coral predator *Acanthaster planci* in the south Pacific. *Mar. Biol.*, 6(1):12-17.
- Wherall, J.A., J.J. Polovina & Ralston. 1987. Estimating growth and mortality in steady state fish stocks from length-frequency data. *En* Pauly D. & G.R. Morgas (Eds.) Length-based methods in Fisheries Research, ICLARM Conf. Proc., (13): 53-74.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical analysis*. 3^o ed. Prentice- Hall. Upper Saddle River. 918 p.