



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



DEPARTAMENTO DE PESQUERÍAS Y BIOLOGÍA MARINA

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

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA

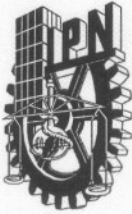
TANIA HERRERA ESCALANTE

DIRECTOR DE TESIS

DR. FEDERICO A. GARCÍA DOMÍNGUEZ

NOVIEMBRE 2005

LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 11:00 horas del día 05 del mes de Noviembre del 2005 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 de grado titulada:

"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"

Presentada por el alumno:

HERRERA

Apellido paterno

ESCALANTE

materno

TANIA

nombre(s)

Con registro:

A	0	3	0	4	0	8
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

LA COMISION REVISORA

Director de tesis
PRIMER VOCAL

DR. FEDERICO ANDRÉS GARCÍA DOMÍNGUEZ

PRESIDENTE

DR. OSCAR EFRAÍN HOLGUIN QUIÑONES

SECRETARIO

DR. MARCIAL ARELLANO MARTÍNEZ

SEGUNDO VOCAL

MC. GUSTAVO DE LA CRUZ AGÜERO

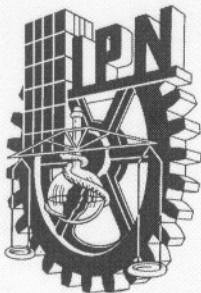
TERCER VOCAL

DR. HÉCTOR REYES BONILLA

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE





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

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 10 del mes Noviembre del año 2005, el (la) que suscribe TANIA HERRERA ESCALANTE alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro A030408 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: DR. FEDERICO ANDRÉS GARCÍA DOMÍNGUEZ y cede los derechos del trabajo titulado: "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" 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. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: phataria_unifascialis@hotmail.com

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

TANIA HERRERA ESCALANTE

nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

A todos aquellos que hicieron posible esta tesis. A la participación de mi comité revisor: Dr. Oscar Efraín Holgüin Quiñones, al Dr. Marcial Arellano, al M.C. Gustavo de la Cruz Agüero, al Dr. Héctor Reyes Bonilla y a mi director el Dr. Federico Andrés García Domínguez, que sin la aportación de sus conocimientos no hubiese terminado la tesis.

Especiales gracias al Dr. Federico, por haber hecho posible mi ingreso a la Maestría en el CICIMAR y sobre todo por aguantar mis tantos retrasos con la tesis. Al igual agradezco a Héctor Reyes por haber escuchado mis problemas existenciales y por acceder de última hora a llevar esta tesis y por su paciencia cuando no tenía idea de como proceder en la elaboración de la tesis.

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) por el apoyo logístico y las facilidades prestadas en la impresión de los ejemplares de la tesis. A Jorge y a Fidel por ayudarme a procesar las muestras para reproducción. Al personal del laboratorio de edad y crecimiento por el apoyo con el equipo fotográfico. A Malva por solucionar mis problemas en el Centro de Cómputo y a Humberto de Servicios Escolares. Así a todos los involucrados en las salidas de campo.

A CONACyT por la beca-crédito otorgada y al Instituto Politécnico Nacional por la beca PIFI de los proyectos 20031561 y 20040240.

A Dinorah por ser una gran amiga y escuchar todas mis penas. A mis amigas, Miriam por jalarme las riendas y siempre estar cuando más la necesite, Gaby por aconsejarme, escucharme y ayudarme con sus conocimientos, Marce por ser tan linda. Por último pero el más importante a Javier por ser mi compañero y amigo, por soportarme y quererme tal como soy, gracias amor por ser parte de mi vida.

DEDICATORIA

A

Mis padres Javier y Rosita por apoyar todas mis decisiones y ser tan comprensivos.

Mis hermanos Ande, Mayo y Javier por soportarme.

Mi abue por pedir diariamente por mí.

Javier por ser mi compañero y amante.

Dios por guiarme a lo largo de esta senda y ayudarme a librar los obstáculos que se me presentan día a día.

La soledad es tan bella y necesaria como la vida.

INDICE	PÁGINA
Glosario	iv
Índice de tablas	vi
Índice de figuras y láminas	vii
Resumen	x
Abstract	xii
I. Introducción	1
II. Antecedentes	3
III. Justificación	7
IV. Objetivos	
General	8
Metas	8
V. Metodología	
Área de estudio	9
Recolecta de material biológico	12
Dinámica poblacional	12
Reproducción	16
Parasitismo	17
VI. Resultados	
Dinámica poblacional	
Densidad	18
Estructura de tallas y pesos	19

Crecimiento	24
Mortalidad	27
Reproducción	
Fases gonádicas	30
Ciclo gonádico	36
Cuantificación y medición de ovocitos	39
Proporción sexual	41
Relación de la temperatura con el ciclo gonádico	42
Parasitismo	44
VII. Discusión	
Dinámica poblacional	
Densidad	49
Estructura de tallas	50
Crecimiento	51
Mortalidad	53
Reproducción	
Ciclo gonádico	54
Cuantificación y medición de ovocitos	55
Proporción sexual	56
Relación de la temperatura con el ciclo gonádico	57
Parasitismo	58
VIII. Conclusiones	60

IX. Recomendaciones	62
X. Sugerencias para trabajo futuro	62
XI. Literatura citada	63
XII. Anexos	
Anexo I. Características generales del phylum	75
Anexo II. Características generales de la Clase Asteroidea	76
Anexo III. Posición sistemática	77
Anexo IV. Tablas	78
Anexo V. Figuras	80

GLOSARIO

Abactinal. Dorsal.

Ambulacral. Secciones que contienen los pies ambulacrales.

Atresia. Gametos inviables o que no fueron liberados y que son reabsorvidos por grupos de fagocitos.

Basófilos. Células o tejidos de carácter ácido que reacciona con los colorantes básicos, como la hematoxilina.

Células foliculares. Células que se adhieren a la periferia de los ovocitos, formando el folículo y nutriéndolo.

Ciclo gonádico. Se refiere a los diferentes estadios de desarrollo por los que pasa la gónada periódicamente.

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

Hermafrodita. Es la producción de gametos femeninos y masculinos en un mismo individuo.

Madreporita. Placa interr radial localizada en la superficie abactinal del disco.

Ovocitos previtelogenéticos. Ovocitos primarios que carecen de vitelo.

Pápulas. Estructuras delicadas en forma de tubos que pasan entre los poros de las espinas.

Pies ambulacrales. Órganos suaves y extensibles, que pueden ocurrir en series dobles o cuádruples dentro de los surcos ambulacrales y presentan o carecen de ventosa terminal y que permiten el desplazamiento del organismo.

Placas ambulacrales. Oscículos internos pareados presentes en los brazos.

Podia. Pies.

Radios. En las estrellas equivalen a los brazos.

Surcos ambulacrales. Área procedente del anillo alrededor de la boca, formando una estrella conspicua de cinco radios o sus multiplos en la superficie ventral del cuerpo.

INDICE DE TABLAS	PÁGINA
Tabla I. Estructuras de tallas promedio de <i>Phataria unifascialis</i> .	21
Tabla II. Parámetros de crecimiento estimado por diferentes análisis.	24
Tabla III. Incidencia de parasitismo en hembras y machos, y en las fases gametogénicas.	48
Tabla IV. Longitud vs edad para <i>P. unifascialis</i>	78
Tabla V. Radio del brazo de algunas especies de asteroideos.	78
Tabla VI. Edad de vida de diferentes clases de equinodermos	79
Tabla VII. Desove relacionado con los ciclos lunares (luna llena) de los equinodermos asociados a arrecifes.	79

ÍNDICE DE FIGURAS Y LÁMINAS	PÁGINA
Figura 1. Localización del área de estudio	11
Figura 2. Densidad de <i>Phataria unifascialis</i> de junio 2003 a marzo de 2004.	18
Figura 3. Radio del brazo de <i>Phataria unifascialis</i> entre enero de 2003 y marzo de 2004.	19
Figura 4. Radio del brazo a través del tiempo para <i>Phataria unifascialis</i> ..	20
Figura 5. Peso de los individuos recolectados de <i>Phataria unifascialis</i> (enero-diciembre 2003).	22
Figura 6. Peso de <i>Phataria unifascialis</i> en el periodo de muestreo.	23
Figura 7. Relación del peso y el radio del brazo para <i>Phataria unifascialis</i> a lo largo del periodo de muestreo.	24
Figura 8. Curva de crecimiento de <i>Phataria unifascialis</i> de acuerdo a la ecuación de von Bertalanffy.	25
Figura 9. Frecuencia de edad por mes de <i>Phataria unifascialis</i> .	26
Figura 10. Estructura de edad de <i>Phataria unifascialis</i> durante el periodo de estudio.	27
Figura 11. Curva de supervivencia de la estrella de mar <i>Phataria unifascialis</i> .	28
Figura 12. Estimación de la edad de primera madurez de <i>Phataria unifascialis</i> .	29
Figura 13. Fases gonádicas de <i>Phataria unifascialis</i> .	38

Figura 14. Diámetro de los ovocitos de <i>Phataria unifascialis</i> en el periodo enero-diciembre de 2003.	40
Figura 15. Estructura del diámetro de los ovocitos de <i>Phataria unifascialis</i> para el periodo de muestreo.	41
Figura 16. Proporción de sexos de <i>Phataria unifascialis</i> durante el periodo de estudio.	42
Figura 17. Relación de la temperatura con las fases gametogénicas.	43
Figura 18. Relación de la temperatura con el porcentaje de hembras y machos desovantes de <i>Phataria unifascialis</i> para el año 2003.	44
Figura 19. Parasitismo a lo largo del periodo de muestreo, enero de 2003 a marzo de 2004.	46
Figura 20. Frecuencia de individuos parasitados respecto al radio del brazo de <i>Phataria unifascialis</i> .	46
Figura 21. Incidencia del parasitismo en diferentes edades de <i>Phataria unifascialis</i> .	47
Figura 22. Porcentaje de parasitismo en organismos maduros e inmaduros de <i>Phataria unifascialis</i> .	47
Figura 23. Frecuencia de aparición de las fases gonádicas para <i>Phataria unifascialis</i> .	80

Lámina 1. Individuos indiferenciados de <i>Phataria unifascialis</i> .	30
Lámina 2. Fase de ovogénesis de hembras de <i>Phataria unifascialis</i> .	32
Lámina 3. Fase de madurez de hembras de <i>Phataria unifascialis</i> .	32
Lámina 4. Fase de desove de hembras de <i>Phataria unifascialis</i> .	33
Lámina 5. Fase de postdesove de hembras de <i>Phataria unifascialis</i> .	33
Lámina 6. Fase de ovogénesis de machos de <i>Phataria unifascialis</i> .	34
Lámina 7. Fase de madurez de machos de <i>Phataria unifascialis</i> .	35
Lámina 8. Fase de desove de machos de <i>Phataria unifascialis</i> .	35
Lámina 9. Fase de postdesove de machos de <i>Phataria unifascialis</i> .	35
Lámina 10. Individuo hermafrodita de <i>Phataria unifascialis</i> .	36
Lámina 11. Parasitismo en <i>Phataria unifascialis</i> .	45
Lámina 12. Especímenes de <i>Phataria unifascialis</i> con diversas tonalidades.	77

Dinámica Poblacional y Reproducción de la Estrella de Mar *Phataria unifascialis*
(Gray 1843) en Bahía de La Paz, Baja California Sur, México.

RESUMEN.

La estrella de mar *Phataria unifascialis* ha sido considerada como controlador de la biomasa algal en los sistemas arrecifales; además, en Baja California es utilizada para elaborar artesanías. El presente trabajo tiene la finalidad de conocer aspectos de la dinámica poblacional y la reproducción de la estrella de mar *P. unifascialis* en la Bahía de La Paz. Se recolectaron mensualmente 130 organismos de enero de 2003 a marzo de 2004 en Baja California Sur, los cuales fueron medidos, pesados y regresados a su hábitat original. Para la dinámica poblacional se utilizaron 1148 individuos, de los cuales 364 fueron colectados y preservados en formaldehído (10%). La densidad fue de 0.30 ± 0.4 ind/m². Los individuos tuvieron una longitud de 9.12 ± 0.04 cm de radio de brazo, y un peso de 37.55 ± 0.32 g. La relación peso-longitud fue significativa ($r^2=0.8$ y con valores de $a=0.39$, $b=2.05$). Los parámetros de crecimiento del modelo von Bertalanffy fueron $D_{\infty}=16.45$, $K=0.52$, $t_0=0.31$. Se estimó una longevidad de 5.8 años de edad, y una tasa de mortalidad anual de 0.32. Las gónadas se disectaron y se describieron microscópicamente cinco fases gonádicas para ambos sexos: indiferenciada, desarrollo, madurez, desove y postdesove. El desarrollo fue importante de enero a abril; mientras que la madurez estuvo poco representada; el desove se presentó casi todo el año. La edad de primera madurez fue de dos años (9.3 cm (D) y de 41.13 g). La proporción sexual no difirió de 1:1. La prevalencia de *Thyca callista* (Gasteropoda: Thycidae) en *P.*

unifascialis fue de 3.14% presentando una intensidad de 1.17 organismos por estrella, donde las hembras fueron las más parasitadas; el parásito se encontró adherido principalmente a los organismos de 2 años (47%). La temperatura solo se relacionó con la fase de desarrollo de la especie ($r^2=0.634$, $p=0.001$). En conclusión *P. unifascialis* presentó un crecimiento rápido y una alta mortalidad durante el primer año, así como una reproducción continua, siendo los meses cálidos con mayor frecuencia de organismos en desove. El parasitismo no afectó el ciclo reproductivo de la especie y se encontró una mayor frecuencia en los organismos maduros.

Palabras clave: Asteroidea, *Phataria unifascialis*, Baja California Sur, dinámica poblacional, reproducción.

Population dynamics and Reproduction of sea star *Phataria unifascialis* (Gray 1843) in La Paz Bay, Baja California Sur, Mexico.

ABSTRACT

Sea star *Phataria unifascialis* is considered an algal biomass controller on coral reefs, and in Baja California is used for craft. The present study was made to obtain some basic information of the population dynamics and reproductive cycle of this sea star. Monthly collections of 130 organisms were made from January 2003 to March 2004 at Baja California Sur, Mexico. The arm ratio of the specimens (D) was measured and weighted. We were used 1148 to population dynamics, from that 364 organisms were used for reproduction analysis and they were preserved in 10 % sea water-formalin and taken to the lab. We obtain an annual mean density of 0.30 ± 0.4 ind/m². Mean size and weight were 9.12 ± 0.04 cm arm ratio and 37.55 ± 0.32 g, respectively. The length-weight relationship was not significant ($r^2=0.8$ whit values of $a=0.39$, $b=2.05$). Population parameters were $D_{asint}=16.45$, $K=0.52$, $t_0=0.31$. Mortality analysis was 0.32 and longevity was 5.8 years. Once the gonads were dissected were histologically processed and embedded in paraffin, we described microscopically five maturity stages for males and females: Gametogenesis, Maturity, Spawning, Spent and Recovery. The early stages of development were observed on November and December. Only a few mature gonads were found along the study period, in most of them were spawning. First sexual maturity was attained at second year or a size of 9.3 cm (arm ratio) and a weight of 41.13 g. Sex ratio was 1:1. Parasitism incidence of *Thyca callista*

(Gastropoda: Thycidae) in *P. unifascialis* was 3.14% with 1.17 parasites per star. Parasitism was seen prior on female, and individuals with two old years (47%). Only the gametogenesis was influenced by temperature variation ($r^2=0.634$, $p=0.001$). In conclusion *Phataria unifascialis* shows a fast growth rate, high mortality rate and it seems to reproduce continuously through the year, were temperate months had high frequency organism spawning. Parasitism was not affected reproductive cycle of this specie and was more common in maturity organisms.

I. Introducción

El Phylum Echinodermata es considerado uno de los grupos zoológicos mejor conocidos del reino animal (Caso 1961, Lawrence 1987, Den Besten 1998) y del golfo de California (Holguin-Quiñones *et al.* 2000). Los equinodermos son invertebrados de gran importancia en los ecosistemas marinos ya que han sido considerados como agentes organizadores en función de su actividad depredadora y su distribución en un gran número de hábitats (Jangoux 1982, Menge 1982, Sammarco 1982, Cintra-Buenrostro 2001).

Se estima que en la actualidad existen unas 7,000 especies en el phylum, las cuales se clasifican en cinco clases: Asteroidea (estrellas de mar), Ophiuroidea (ofiueros o estrellas serpiente), Echinoidea (erizos y galletas de mar), Holothuroidea (pepinos de mar) y Crinoidea (lirios y plumas de mar) (Brusca y Brusca 1990, Harrison y Chia 1994). Los equinodermos son exclusivamente marinos (Harrison y Chia 1994) y en su mayor parte son bentónicos; habitan una gran variedad de sustratos y viven desde la zona litoral hasta la zona abisal (Caso 1961). Las características generales del phylum se presentan en el Anexo I.

La Clase Asteroidea o estrellas de mar, reciben este nombre desde la época de Linneo, debido a su aspecto estrellado (Hyman 1955). Esta clase está representada por unas 2,000 especies aproximadamente, las cuales se encuentran distribuidas en cinco órdenes: Paxillosida, Valvatida, Velatida, Spinulosida y Forcipulatida. Las características de la clase se presentan en el Anexo II.

En México los estudios realizados sobre equinodermos han tenido diversos enfoques, abarcando desde aspectos generales como listados faunísticos, biogeografía, ecología y biología básica (Caso 1978, Maluf 1988, Solís-Marín *et al.*

1997, Reyes-Bonilla y Calderón-Aguilera 1999), hasta investigaciones con fines pesqueros (Caso 1978, Espino-Barr et al. 1996, Herrero-Pérez et al. 1999).

Una de las estrellas de mar más comunes en México es *Phataria unifascialis* (Gray 1840) (Valvatida: Ophidiasteridae) (Caso 1961). Esta especie se caracteriza por tener cinco brazos (aunque pueden presentar cuatro a seis), que por lo general son trigonales y afilados en los extremos distales. En la base de los brazos muestrean un arreglo bifascial de series de pápulas dispuestas sobre la superficie dorsal en una hilera casi continua y a cada lado de los radios. Por lo general, hay otras dos series de pápulas pero solo presentes en la superficie abactinal. Las placas ambulacrales presentan dos hileras de espinas y el cuerpo de la estrella está cubierto por gránulos en la superficie (Caso 1961, Cintra-Buenrostro 1997). Presenta diversas coloraciones, café-naranja, azul-gris, rojizo-naranja y amarilla (Caso 1961). *P. unifascialis* se distribuye desde el golfo de California hasta Ecuador y en las islas Galápagos, aunque también se ha encontrado en la costa del Pacífico de la península de Baja California (Caso 1961, Brusca 1980, Maluf 1988, Morgan y Cowles 1996). Esta estrella se encuentra en aguas someras y hasta los 40 m de profundidad, en áreas con diferentes temperaturas. Su tipo de alimentación es herbívoro (Cintra-Buenrostro 1997). La posición sistemática se presenta en el Anexo III.

La especie *P. unifascialis* suele ser parasitada por el gasterópodo *Thyca callista* Berry, 1959 (Gastropoda:) (Metz 1996, Salazar y Reyes Bonilla 1998). Este género incluye parásitos exclusivos de asteroideos de aguas cálidas, los cuales se adhieren al hospedero por un disco de fijación en el cual se encuentra la boca (Hyman 1955). Este molusco es de color blanco rosáceo, presenta una concha en forma de gota (Keen

1972) y se alimenta por absorción de los flúidos alimenticios presentes en el interior de los brazos ambulacrales de las estrellas (Metz 1996).

El aumento en la demanda de los recursos marinos ha ejercido una presión considerable sobre los mismos y cuando no hay una captura racional se afectan las poblaciones de tal forma que son difícilmente recuperables (García-Cuellar 2001), por lo que la administración de estos recursos requiere del conocimiento de la biología de las especies de interés (Richmond 1997, Miller y Lawrence 1999). La evaluación de los recursos permite determinar la cantidad de organismos existentes, el tamaño de la población y su estructura en un momento dado, pero no define la cantidad de organismos aprovechables y el ritmo de explotación que pueda soportar el recurso (Anónimo 1992). Esto último, solo lo precisa el conocimiento de los parámetros poblacionales de la especie y su comportamiento en el medio. Por ello, se requiere saber: sus épocas y capacidad reproductoras, tallas mínimas de la primera reproducción, velocidad de crecimiento, reclutamiento de la población y la mortalidad natural y posibles causas de ésta. Todo ello, aunado al conocimiento de su abundancia, proporciona una guía de cuando y cuanto capturar (Anónimo 1992). Este trabajo pretende contribuir a un mayor conocimiento sobre la dinámica poblacional y la biología reproductiva de la estrella de mar *P. unifascialis*, con la finalidad de conservar el recurso y efectuar un aprovechamiento racional de la especie.

II. Antecedentes

Se han realizado diversos trabajos sobre crecimiento, reproducción y parasitismo en asteroideos. En el Atlántico (golfo de Maine), Shick *et al.* (1981) estudiaron la estrella de mar *Ctenodiscus crispatus*, y observaron que la distribución de las clases de talla

no fue muy clara durante el estudio. La especie presentó ovocitos maduros a lo largo del año, con un mayor porcentaje en febrero (37.7%). Los autores sugieren que la distribución por talla y la reproducción están relacionadas principalmente con el alimento y en menor medida con la temperatura. En el Caribe de Panamá, Guzmán y Guevara (2002), mencionan que la estrella *Oreaster reticulatus* presenta una densidad media de 0.015 ind/m², con un radio máximo de 9.5 cm, y que la población está compuesta principalmente por juveniles (83%). Además, observaron que el ciclo reproductivo no presentó relación con la temperatura, pero concluyen que puede estar influenciado por la época de lluvia.

En las costas de Irlanda, Minchin (1987) reportó que el periodo de desove de la estrella *Marthasterias glacialis* se llevó a cabo en los meses de julio y agosto y que las tallas de los organismos desovantes fueron de 2.5 a 26 cm y de 9 a 22 cm (machos y hembras, respectivamente); concluyen que el comportamiento reproductivo y el desove se ven afectados principalmente por la temperatura. Sumida *et al.* (2001) realizaron un estudio del desarrollo de asteroideos juveniles en aguas profundas del suroeste de Irlanda y encontraron que de 11 especies de asteroideos, nueve presentan un crecimiento más rápido en los brazos que en el disco, mientras que las restantes (*Porcellanaster ceruleus* y *Plinthaster dentatus*) tuvieron un crecimiento cercano a la isometría.

Freeman *et al.* (2001) en las islas Británicas, mencionan que en el asteroideo *Astropecten irregularis*, las modas de la clase de talla fueron de 1.8 y 4.7 cm de radio del brazo y su densidad poblacional varió estacionalmente, con el valor más alto en verano (julio; 0.13 ind/m²), posiblemente en asociación con el periodo de desove y con la disponibilidad de alimento. En ambos años observados, el desove se incrementó

con la temperatura del agua de mar (8°C a 15°C), por lo que los autores concluyeron que la temperatura fue un factor importante en la abundancia y distribución de la estrella.

McClintock *et al.* (1995) encontraron que en el norte del golfo de México, las estrellas de mar *Anthenoides pierciei* y *Tosia parva* presentaron una talla de 8.5 cm de radio de brazo y un peso de 57.3 g, y 2.1 cm y 6.1 g, respectivamente, así como poca evidencia de reclutamiento anual. La reproducción presentó un ciclo anual, con un periodo de desove en otoño (noviembre) para *A. pierciei* y en verano (agosto y septiembre) para *T. parva*. Miller y Lawrence (1999), estudiaron el ciclo reproductivo de la estrella *Luidia senegalensis* en el golfo de Florida; encontraron que la variación de las tallas de los individuos fue poca (11.7 a 13.2 cm radio del brazo, y de 61 a 80 g de peso), mientras que el máximo crecimiento gonádico se observó durante el otoño (septiembre), por lo cual sugieren que las condiciones ambientales y la disponibilidad de alimento determinaron los máximos valores del crecimiento gonadal.

En el Indopacífico, Yamaguchi y Lucas (1984), estudiaron el comportamiento del asteroideo arrecifal *Ophidiaster granifer* en la costa de Isla Cocos y encontraron que la estructura de tallas es anual, con una distribución claramente distinguible entre juveniles y adultos. La reproducción fue partenogenética y el ciclo reproductivo fue anual con desoves aparentemente sincrónicos en octubre y noviembre a una temperatura de 28.5 °C. Los individuos de 2.5 cm de radio de brazo fueron los que desovaron un mayor número de huevos.

Por su parte, Byrne (1996) en un estudio sobre las estrellas vivíparas *Patiriella vivipara* y *P. parvivipara* en Australia, encontró que son estrellas de talla pequeña (5 y 15 mm de radio de brazo, respectivamente), que se caracterizan por ser

hermafroditas, y al momento de ser expulsados los juveniles llegan a ser del 25 al 30 % del tamaño del padre. Xu y Barker (1990), realizaron en Nueva Zelanda, un trabajo sobre la regulación de la ovogénesis en *Sclerasterias mollis*. Encontraron que el índice gonádico fue mayor durante agosto y mínimo en febrero; también sugieren que la variación ambiental influye en la gametogénesis y el crecimiento gonadal, vía el sistema endócrino.

En el Pacífico se han efectuado diversos estudios sobre las estrellas de mar, como el de McAlary (1987), quien analizó la estructura poblacional y reproducción de la estrella *Linckia columbiae* en California. Se encontró que esta especie presenta una longitud de 3.8 cm del radio del brazo, una densidad poblacional de 4 ind/m² y una distribución uniforme de los organismos. La reproducción fue asexual por autotomía durante todo el año, principalmente en verano, con lo que se concluye que la densidad y las características morfológicas están dadas por el tipo de reproducción.

Por su parte, Morgan y Cowles (1996) realizaron un estudio sobre los efectos de la temperatura en el comportamiento de *Phataria unifascialis* en bahía de Los Ángeles y Loreto en el golfo de California. Observaron que la densidad en bahía de Loreto fue mayor a la de bahía de Los Ángeles (0.25 y 0.01 ind/m², respectivamente) y que las tallas también presentaron diferencias entre localidades (8.13 cm de radio de brazo y un peso de 34.43 g, y 6.78 cm y 23.59 g, para bahía de Los Ángeles y Loreto, respectivamente). Los autores concluyeron que la disponibilidad del alimento y las bajas temperaturas son factores limitantes en los procesos fisiológicos de esta especie.

En relación al parasitismo, Hyman (1955) menciona que el género *Thyca* es un gasterópodo parásito exclusivo de las estrellas de aguas templadas, donde las

especies *Thyca crystallina*, *T. astericola*, *T. ectoconcha* y *T. pellucida* parasitan al género *Luidia*, mientras que *T. stellasteris*, afecta a la estrella *Stellaster equestris*. Por otra parte, en el golfo de California, Metz (1996) y Salazar y Reyes-Bonilla (1998) realizaron estudios sobre la estrella *P. unifascialis*, donde encontraron que la incidencia de *T. callista* es diferente entre las poblaciones de Loreto y La Paz.

III. Justificación

La importancia ecológica de *P. unifascialis* se debe a que ayuda a controlar la biomasa algal de los ecosistemas en los que se desarrolla (Cintra-Buenrostro 1997). Además, *P. unifascialis* es extraída para su venta con fines de ornato; sin embargo, actualmente no existe el conocimiento suficiente sobre la especie para fundamentar un plan de manejo para su extracción. Al no haber suficiente información sobre la biología de esta especie, el objetivo de este trabajo es estudiar su dinámica poblacional y biología reproductiva en la bahía de La Paz, B. C. S., México.

IV. Objetivos

OBJETIVO GENERAL

Analizar la biología poblacional y conocer el ciclo reproductivo de *Phataria unifascialis* en la bahía de La Paz, B.C.S, México.

METAS

- Determinar la estructura de talla de la población de *Phataria unifascialis*.
- Establecer la relación peso-longitud.
- Describir el crecimiento de *Phataria unifascialis*.
- Describir las etapas de desarrollo gonádico.
- Determinar el ciclo reproductivo.
- Determinar la proporción sexual de los organismos.
- Relacionar las variaciones en la temperatura con el ciclo reproductivo.
- Evaluar la prevalencia de parasitismo por *Thyca callista*.

V. Metodología

ÁREA DE ESTUDIO

La bahía de La Paz se localiza en la parte sur-oriental de la península de Baja California, aproximadamente a 200 km de su extremo sur (figura 1). La bahía se comunica con el golfo de California por una amplia boca ubicada entre punta Cabeza de Mechudo e isla La Partida al noroeste y el canal de San Lorenzo al sureste (Murillo 1987).

La bahía presenta aguas someras en el sur (profundidades menores a 50 m); y tienden a incrementar su profundidad hacia el norte y el centro de la boca principal, donde alcanza los 200 m (Murillo 1987). El patrón de mareas en la bahía depende de la oscilación con la marea del golfo de California y ésta a su vez con la del Océano Pacífico. La marea en la bahía es semidiurna (al igual que en la mitad sur del golfo de California).

El clima de la región es árido o desértico, con una época de sequía prolongada y con escasa precipitación pluvial (García 1988, Salinas *et al.* 1992). La evaporación total anual es de 2387.2 mm, con una precipitación total de 219.7 mm al año (Secretaría de Marina 1979).

La zona tiene condiciones áridas o desérticas, la humedad relativa oscila entre el 66-72 %. Debido a que la evaporación excede a la precipitación (González-Acosta 1998), y a que el aporte permanente de agua por los ríos es prácticamente nulo se presentan salinidades altas (Álvarez-Arellano *et al.* 1997).

El trabajo se realizó en Punta Gaviotas, localidad situada al suroeste de la bahía de La Paz y esta limitada al norte por Punta Diablo y al sur por Punta Base (Murillo 1987). Geográficamente se localiza entre los paralelos 24° 14' y 24° 19' de latitud Norte y

los meridianos 110° 19' y 110° 20' de longitud Oeste. El área submareal en Punta Gaviota, presenta un borde costero rocoso con una franja arrecifal que se extiende a partir de los 5 a 10 m de profundidad. Esta franja esta compuesta en la parte más somera por el coral *Porites panamensis*, seguida de especies del género *Pocillopora*. Después se encuentra un fondo arenoso, y en las partes más profundas (>5 metros) se encuentran colonias del género *Pavona* (Chávez-Romo 2004).

En la bahía de La Paz se reconocen cinco tipos de biotopos costeros (Monteforte y Cariño 1992); el área de estudio corresponde a una de Tipo II, caracterizada por una pendiente relativamente pronunciada y un sustrato formado por grandes bloques de roca y pedruscos sueltos. Este tipo de costa se observa generalmente en áreas protegidas o moderadamente expuestas como bahías y caletas, donde existe un complejo bien definido de cuevas, huecos y grietas que permiten la colonización y desarrollo de una gran variedad de especies bentónicas.

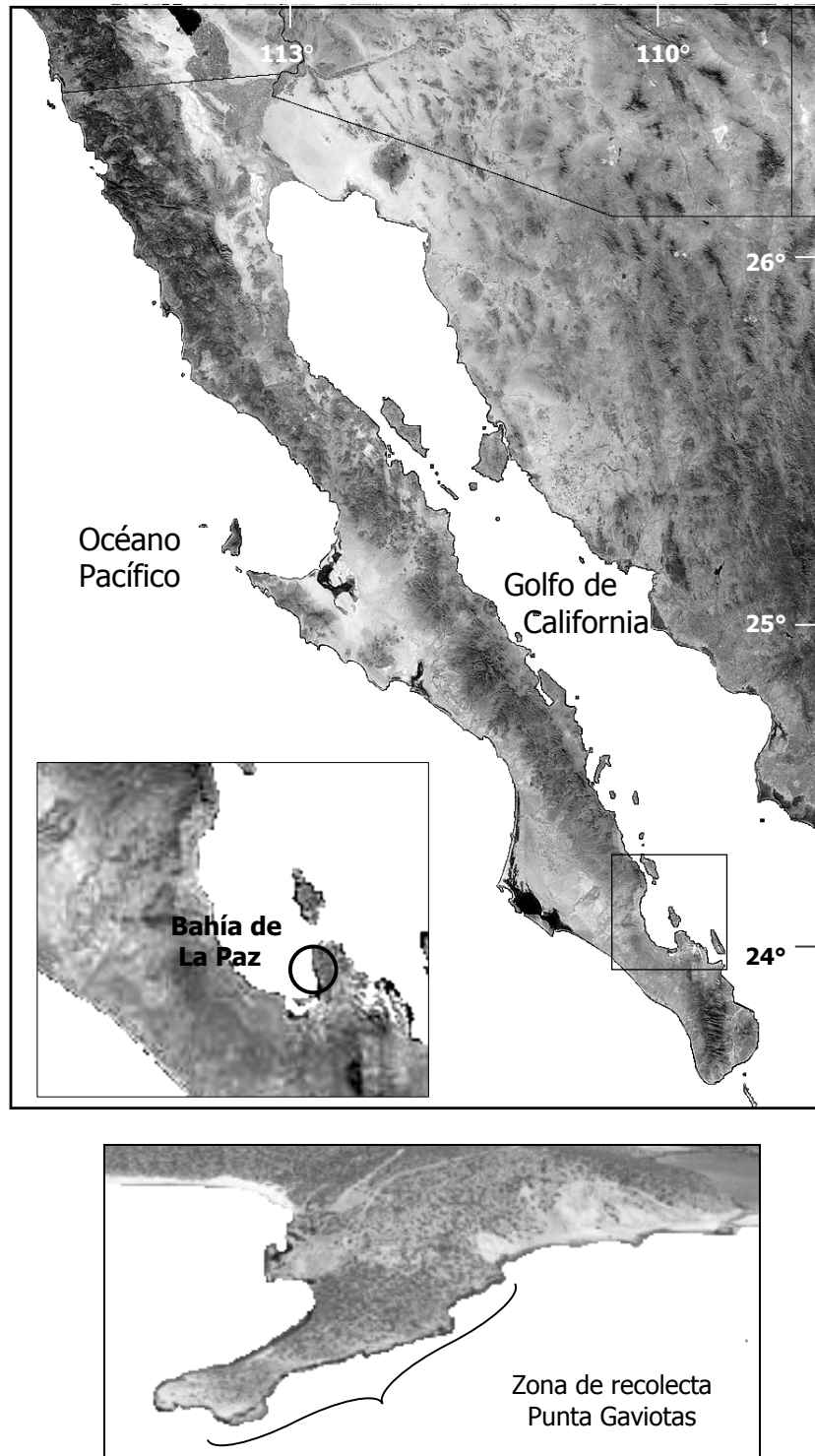


Figura 1. Localización geográfica de la zona de estudio. El círculo muestra la zona de estudio (Punta Gaviota).

RECOLECTA DE MATERIAL BIOLÓGICO

La recolecta de organismos para los análisis de reproducción se realizó mensualmente de enero a diciembre de 2003 y entre enero de 2003 y marzo de 2004 se llevó a cabo la toma de datos para la estimación de la abundancia y el crecimiento. Se recolectaron al azar alrededor de 130 estrellas de la zona arrecifal, 100 de las cuales fueron medidas *in situ* y regresadas al medio, y 30 fueron transportadas al laboratorio en una cubeta con agua de mar, para utilizarse en el estudio histológico. Simultáneamente se realizaron registros de temperatura.

Se midió la longitud del brazo más largo de los ejemplares, a partir del centro del disco hasta ápice del brazo utilizando un calibrador (precisión 0.1 mm) y se pesaron en una balanza digital (precisión 1 g). Se obtuvieron las medidas de tendencia central y dispersión (media, mediana, varianza, desviación y error estándar) de los datos obtenidos sobre el radio del brazo y el peso.

DINÁMICA POBLACIONAL.

La estimación de la densidad se llevó a cabo mensualmente de junio de 2003 a marzo de 2004 y en cada ocasión se realizaron dos censos, mediante transectos de tiempo (15 min.) y un metro de ancho, se tomó la posición de entrada y salida para cada transecto con un geoposicionador satelital (GPS), con las coordenadas obtenidas se estimó la distancia recorrida.

La longitud del radio del brazo y el peso de los organismos para cada mes y para todo el muestreo, se graficaron en histogramas de frecuencia. Los datos morfométricos fueron analizados para la obtención de la relación peso-longitud por

medio de regresiones no lineales ($\alpha = 0.05$) para todo el periodo de muestreo, para lo cual se empleó la siguiente fórmula:

$$W = aL^b$$

Donde:

W= peso (g)

a = factor de condición

L = longitud (cm)

b = factor de alometría

Los datos del radio del brazo y del peso fueron analizados con pruebas estadísticas para determinar si existían diferencias a lo largo del muestreo. Se aplicó una prueba de Kolmogorov Smirnof y una prueba de Levene para confirmar la normalidad y homogeneidad de varianza, y una ANDEVA de una vía para contrastar los resultados por mes, con pruebas *a posteriori* de Tukey para diferentes tamaños de muestra con el fin de detectar las diferencias (Zar 1999).

Con los datos de radio del brazo de los individuos se estimaron los parámetros de la ecuación de crecimiento individual de Bertalanffy, con las rutinas ELEFAN I y el análisis de progresión modal (APM) utilizando el programa FiSAT (Gayanillo *et al.* 1994). Se siguió este modelo al ser el más empleado para estimar la tasa de crecimiento y la edad de los organismos marinos (Gayanillo *et al.* 1994, Sparre y Venema 1995).

La ecuación requiere de tres parámetros: la longitud asintótica que alcanza un individuo en vida (D_{∞}), la tasa de crecimiento individual (K) y el parámetro de condición inicial, que representa el momento en el tiempo en el que un individuo tiene talla de cero (t_0); éste último no tiene un significado biológico real, pero sirve para situar el

origen de la curva de crecimiento (Gulland y Rosemberg 1992, Sparre y Venema 1995). La ecuación es:

$$D_t = D_{\infty} (1 - e^{-k(t-t_0)})$$

Donde:

D_t = Radio del brazo, estimado a un tiempo t (años)

D_{∞} = Radio máximo que un organismo puede alcanzar (cm)

t_0 = Tiempo teórico en el cual el radio es cero (años)

K = Constante de crecimiento

Como ejercicio además del programa FiSAT, se utilizó el método de Ford-Walford (1933, 1946), que consiste en una versión reordenada de la función de crecimiento de Bertalanffy (Pauly 1984), para la estimación de L_{∞} y el método de Beverton y Holt (1957), para estimar K y t_0 para una L_{∞} dada, estos métodos se encuentran en el programa STATA (Stata Corporation 2001) y fueron empleados con la finalidad de observar que método se ajustaba mejor a los datos obtenidos.

Para el cálculo de la edad de primera madurez se utilizó el valor de peso o radio del brazo estimado para el 50% de la población que este en estado de madurez del desarrollo gonádico.

En cuanto a la mortalidad natural (M), ésta se calculó usando los datos de D_{∞} , K y el promedio de la temperatura superficial, a partir de la formula empírica de Pauly (Sparre y Venema, 1995). La ecuación es:

$$\ln M = -0.0152 - (0.279 * \ln D_{\infty}) + (0.6543 * \ln K) + (0.463 * \ln \text{Temp})$$

Donde:

M = Tasa anual de mortalidad natural de la población

D_{∞} = Radio del brazo máximo que un organismo puede alcanzar (cm)

K = Constante de crecimiento

Temp = temperatura promedio anual en el sitio de muestreo

Una vez obtenida dicha tasa y utilizando el modelo básico de mortalidad se generó la ecuación:

$$N_t = N_0 e^{-zt}$$

Donde:

N_t = No. de individuos sobrevivientes al tiempo t

N_0 = No. inicial de individuos de la cohorte

z = tasa de mortalidad

t = edad de la cohorte en años

Con la tasa de mortalidad se sustituyó en la ecuación anterior y se calculó la sobrevivencia. Para la estimación de la longevidad se utilizó la siguiente ecuación, con un $\alpha=0.05$

$$L = 3 / k$$

L = Longevidad (años)

k = Constante de crecimiento

REPRODUCCIÓN

Los 30 organismos transportados mensualmente al laboratorio fueron fijados en una solución de formalina al 10% por un periodo de 72 horas. Posteriormente, se lavaron con agua corriente hasta eliminar el fijador.

Una vez tomadas las medidas morfométricas, se abrió un brazo de cada espécimen a lo largo del surco ambulacral con ayuda de un bisturí, y se extrajeron las gónadas desde la base usando unas pinzas (Yamaguchi y Lucas 1984); las gónadas se colocaron en cartuchos plásticos para conservarlas en alcohol al 70%.

Las gónadas se deshidrataron e incluyeron en parafina. Luego se cortaron a 10 μ m de espesor y se tiñeron con la técnica hematoxilina-eosina (Luna 1968). Los cortes fueron montados en resina para su observación al microscopio a un aumento de 40 x.

Se realizó el análisis microscópico de las preparaciones histológicas de cada muestra mensual, asignando a cada ejemplar una fase de desarrollo gametogénico. Para conocer el estado de actividad gametogénica, se obtuvo la frecuencia relativa de las fases de madurez gonádica mediante gráficas de área por mes.

Las fases se describieron utilizando los criterios establecidos por Yamaguchi y Lucas (1984), Shick *et al.* (1981) y McClintock (1995), que consiste en dividir el ciclo gametogénico en cinco etapas: Indiferenciado, Desarrollo, Madurez, Desove y Postdesove.

Con el fin de confirmar el análisis cualitativo de la escala de estadios de madurez y de evaluar el crecimiento de los gametos femeninos, se determinó el diámetro promedio mensual de los ovocitos mediante imágenes digitalizadas de las preparaciones histológicas con el programa SigmaScan Pro 5.0, utilizando sólo las preparaciones de las fases determinadas en desarrollo, madurez y desove. Para cada

espécimen se midieron 50 ovocitos por mes como muestra mínima recomendada (Yamaguchi y Lucas 1984). A través de este examen microscópico se registró el sexo de cada organismo. Se calculó la proporción de cada sexo en la muestra y con una prueba de Ji cuadrada se validó si ésta difiere de una proporción de 1:1.

La estimación de la relación de la temperatura con el ciclo reproductivo y cada una de las fases de desarrollo gameogénico, se obtuvo mediante una correlación de Spearman con un $\alpha = 0.05$ (Zar 1999).

PARASITISMO

El nivel de parasitismo del gasterópodo *Thyca callista* sobre la estrella de mar *Phataria unifascialis* se estimó mediante los índices de intensidad y prevalencia (Margolis et al. 1982), utilizados por Salazar y Reyes-Bonilla (1998), para la estimación del parasitismo en el sur del golfo de California.

El índice de intensidad estima la cantidad de parásitos que se encuentran por hospedero:

$$I = \text{No. de parásitos} / \text{No. de estrellas parasitadas}$$

El índice de prevalencia estima la proporción de la población que sufre parasitismo:

$$P = \text{No. de individuos parasitados} / \text{Total de organismos revisados}$$

Se estimó la talla y edad a la que es parasitada *Phataria unifascialis*, a partir de la clase talla/edad y también se determinó si el parásito se había fijado en estrellas que habían alcanzado la madurez sexual. Finalmente, se analizó la prevalencia entre hembras y machos, mediante pruebas de homogeneidad con χ^2 .

VI. Resultados

DINÁMICA POBLACIONAL

Densidad

La densidad promedio anual estimada de *Phataria unifascialis* fue de 0.30 ± 0.48 (SE) ind/m²; a partir de ahí se estimó una abundancia total de 782 individuos para el área del arrecife (2 600 m²). Se encontró que en los meses de junio y julio de 2003 hubo el mayor número de organismos (0.69 ± 0.79 y 0.79 ± 1.32 ind/m², respectivamente), mientras que en enero de 2004 se detectó la menor densidad del periodo (0.08 ± 0.09 ind/m²). En agosto no se obtuvieron datos de densidad (Fig. 2).

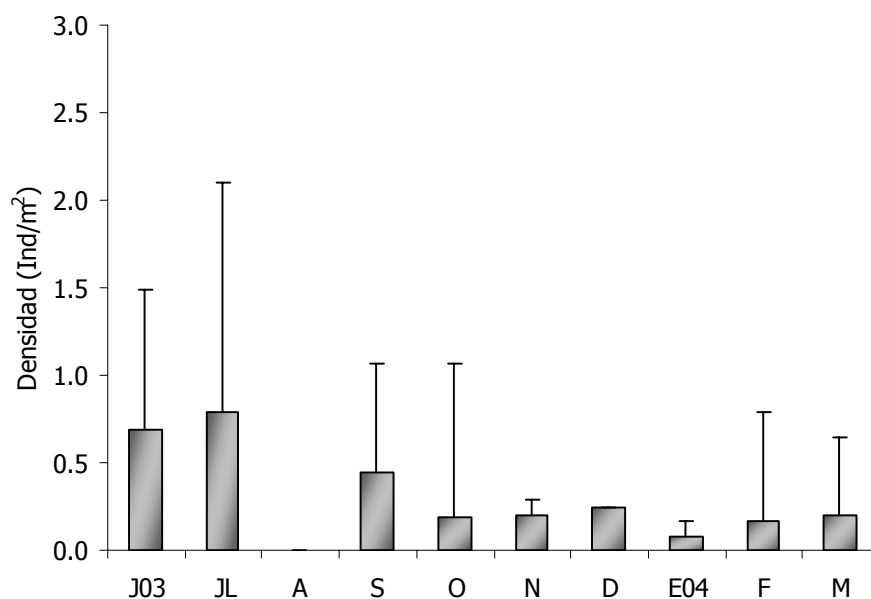


Figura 2. Densidad de *Phataria unifascialis* ($\bar{X} \pm SE$) en el periodo de junio de 2003 a marzo de 2004.

Estructura de tallas y pesos

Se midieron 1148 individuos, que presentaron un radio de brazo mínimo de 4.71 cm y un radio máximo de 13.77 cm, con un promedio de 9.12 ± 0.04 cm. La moda del radio del brazo fue de 9.32 cm (Fig. 3).

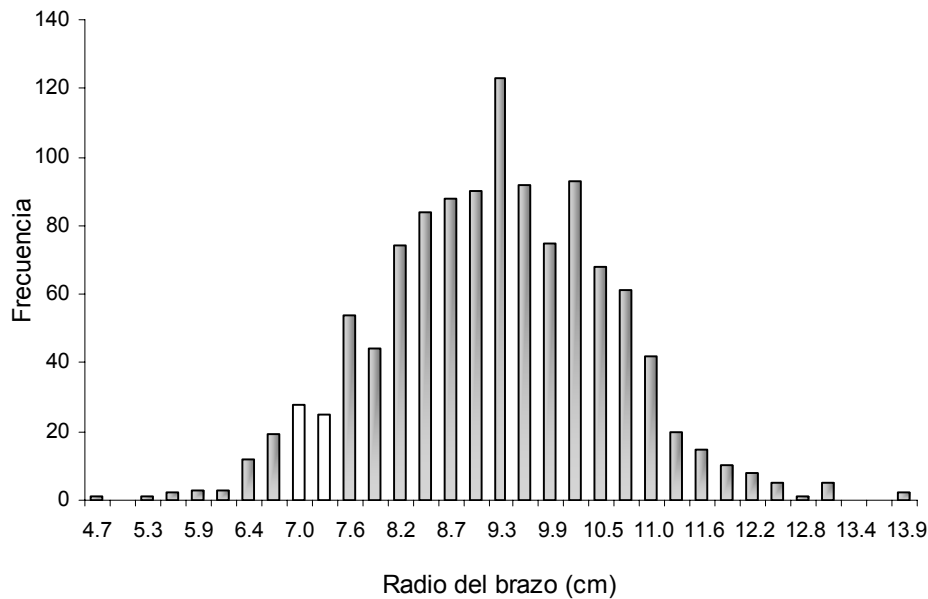


Figura 3. Radio del brazo de *Phataria unifascialis* entre enero de 2003 y marzo de 2004.

El estudio no reveló diferencias significativas en el radio del brazo entre meses [ANDEVA $F_{(14, 1133)} = 1.363$, $p = 0.16$]. En enero de 2003 se encontró una longitud promedio mínima de 8.50 ± 0.24 cm y en abril de 2003 un promedio máximo de 9.92 ± 0.23 cm (Fig.4, Tabla I).

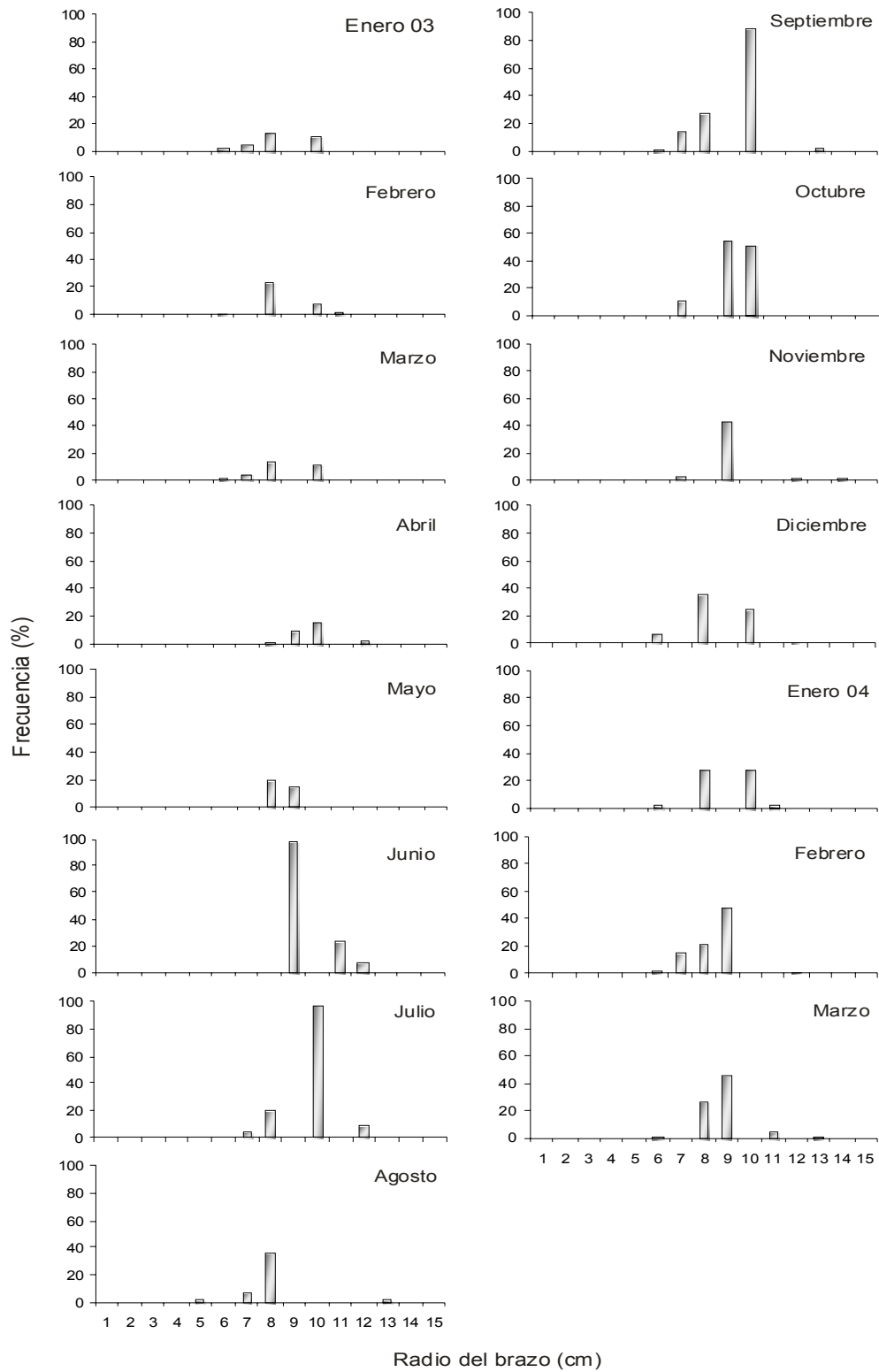


Figura 4. Radio del brazo a través del tiempo para *Phataria unifascialis*.

Tabla I. Estructuras de tallas promedio de *Phataria unifascialis*. n= número de individuos, \bar{L} = Longitud promedio, \bar{P} = Peso promedio, DS_L = desviación estándar de la longitud del brazo, DS_W = desviación estándar del peso, M_L = máximo de longitud, m_L =mínimo de longitud, M_w = máximo de peso, m_w = mínimo de peso.

*Mes	n	\bar{L}	DS_L	M_L	m_L	\bar{P}	DS_W	M_w	m_w
E2003	28	8.50	1.39	10.8	4.71	32.80	10.20	58.11	9.49
F	30	8.87	1.13	11.4	6.43	35.33	9.36	58.11	17.96
M	31	8.76	1.37	10.93	5.5	34.79	10.55	53.30	13.04
A	30	9.92	0.84	11.84	8.09	44.02	7.63	62.79	28.76
Ma	30	8.95	0.97	11.11	7.43	35.89	8.08	55.11	24.16
J	130	9.02	1.33	12.81	6.43	36.82	11.30	73.80	17.96
JL	136	9.34	1.27	12.79	6.59	39.38	10.92	73.56	18.89
A	132	9.5	1.4	12.94	5.11	40.93	11.89	75.34	11.21
S	128	9.22	1.36	12.79	5.44	38.48	11.25	73.56	12.75
O	100	9.46	1.28	12.07	6.57	40.44	10.70	65.32	18.77
N	79	9.39	1.24	13.77	6.9	39.78	11.47	85.58	20.75
D	74	8.66	1.20	11.71	5.73	33.81	9.49	61.39	14.18
E2004	61	8.63	1.27	11.66	6.07	33.65	10.21	60.85	15.96
F	82	8.59	1.15	11.51	5.58	33.20	8.67	59.26	13.43
M	77	8.92	1.14	13	6.26	35.75	9.53	76.06	17

*E= enero, F= febrero, M= marzo, A= abril, Ma= mayo, J= junio, JL= julio, A= agosto, S= septiembre, O= octubre, N= noviembre, D= diciembre.

Por otro lado se encontró que los organismos tuvieron un peso mínimo de 10 g y un máximo de 91.10 g, con un promedio de 37.55 ± 0.32 g, y una moda de 38.28 g (Fig. 5). El estudio mostró que no hubo diferencias significativas en el peso a lo largo del tiempo [ANDEVA $F_{(14, 1133)} = 1.526$, $p = 0.094$].

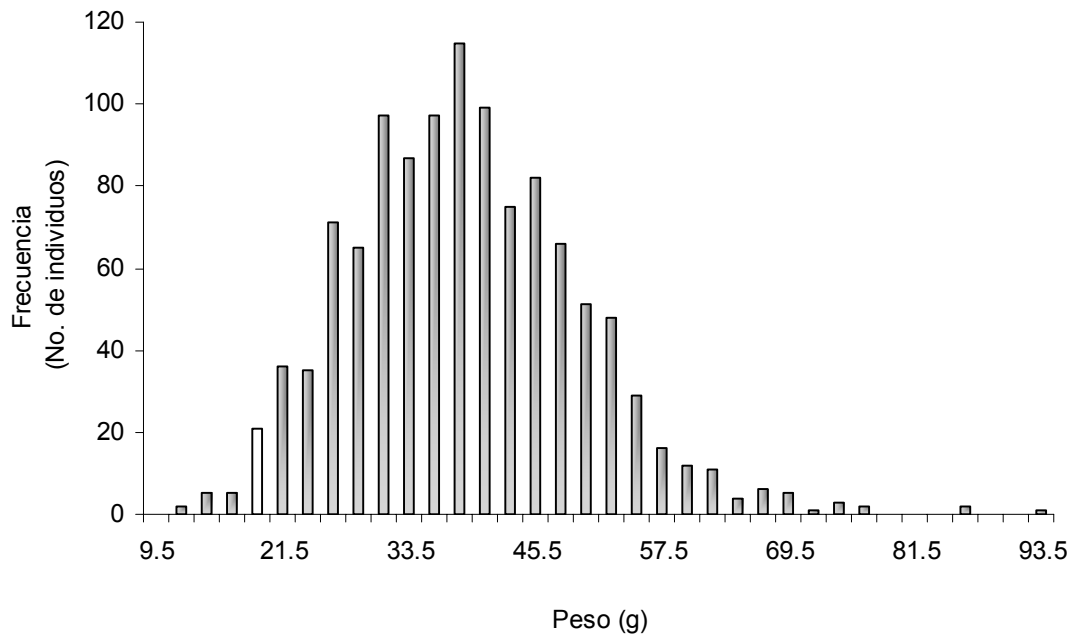


Figura 5. Peso de los individuos de *Phataria unifascialis* (enero-diciembre 2003).

Se puede observar que la media de los organismos de menor peso se obtuvo en el mes de enero de 2003 (32.8 ± 2 g), mientras que en abril de 2003 se encontraron los individuos con el mayor peso promedio (44.02 ± 1.93 g) (Fig.6, Tabla I).

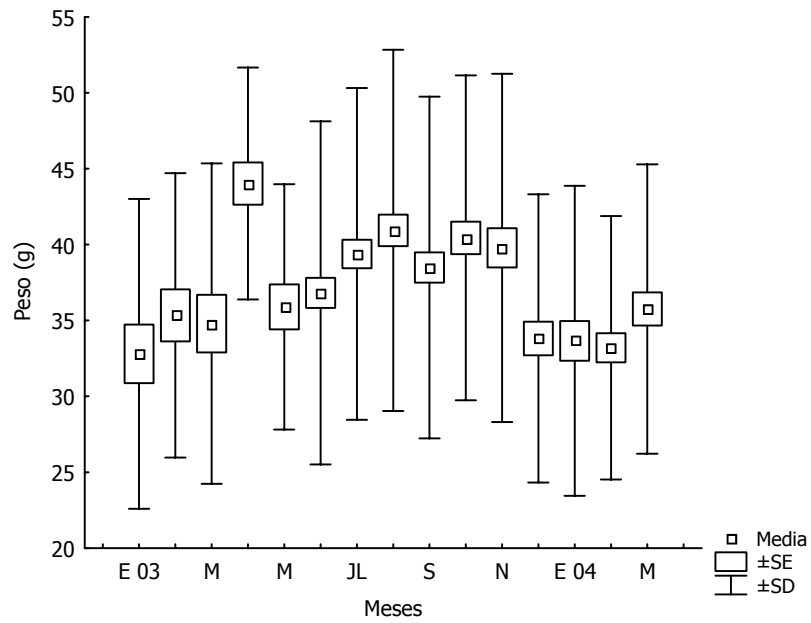


Figura 6. Peso de *Phataria unifascialis* en el periodo de muestreo. SE= Error estándar, SD= Desviación estándar.

Respecto a la relación de la longitud del radio y el peso, ésta fue significativa ($r^2=0.8046$); la ecuación de peso-longitud obtenida es: $W = (0.3959) \times L^{2.0511}$ (Fig. 7).

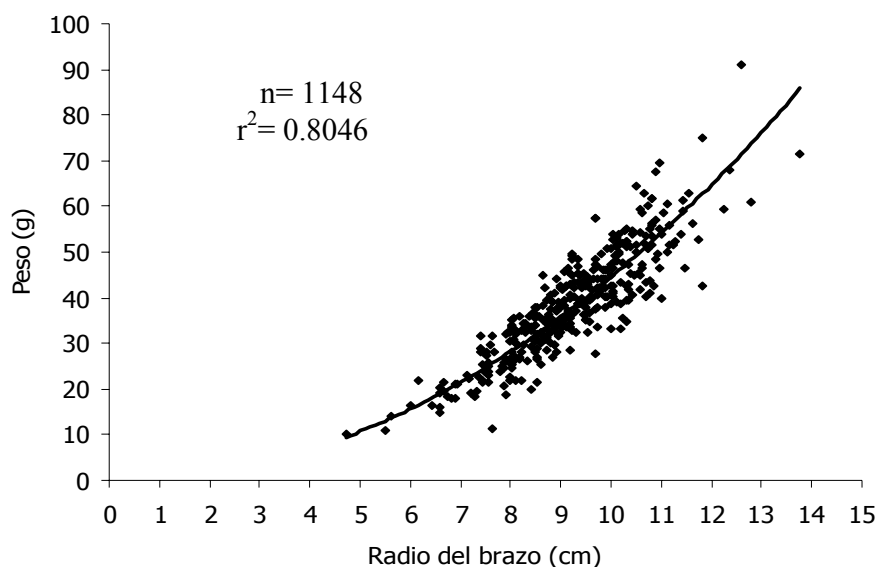


Figura 7. Relación del peso y el radio del brazo para *Phataria unifascialis* a lo largo del periodo de muestreo.

Crecimiento

En la tabla II se observan los parámetros obtenidos para la estimación y elaboración de la curva de crecimiento (Fig. 8).

Posteriormente se estimó la mortalidad, supervivencia, longevidad y edad de primera madurez, con los datos obtenidos de los parámetros y de la curva de crecimiento.

Tabla II. Parámetros de crecimiento estimado por diferentes análisis. (Gayanillo et al. 1994, Stata Corp 2001).

	ELEFAN I	APM	Ford-Walford	Beverton y Holt	von Bertalanffy
D_{∞}	16	17	16.21	16.46	16.46
K	0.86	1.46	0.51	0.52	0.52
T_0				0.32	0.32
r^2			0.92	0.99	0.99

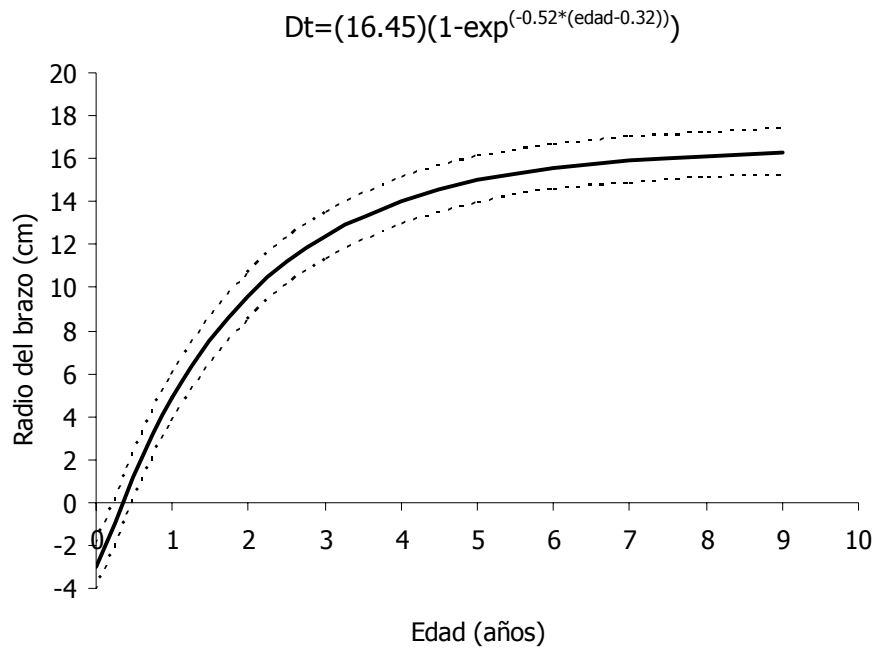


Figura 8. Curva de crecimiento de *Phataria unifascialis* de acuerdo a la ecuación de von Bertalanffy, la línea punteada indica el error estándar, con un $\alpha= 0.05$.

La estructura de edad mostró que en la mayoría de los meses los organismos de 2 años (9.6 cm radio del brazo) fueron los más abundantes, no obstante, en agosto, se presenta un grupo de edad de 3 años (12.4 cm de radio del brazo) como predominante (Fig. 9). Lo anterior se ve reflejado en la estructura de edad anual (Fig. 10). El intervalo de la longitud del radio del brazo para cada intervalo de edad se muestra en el Anexo IV (Tabla V).

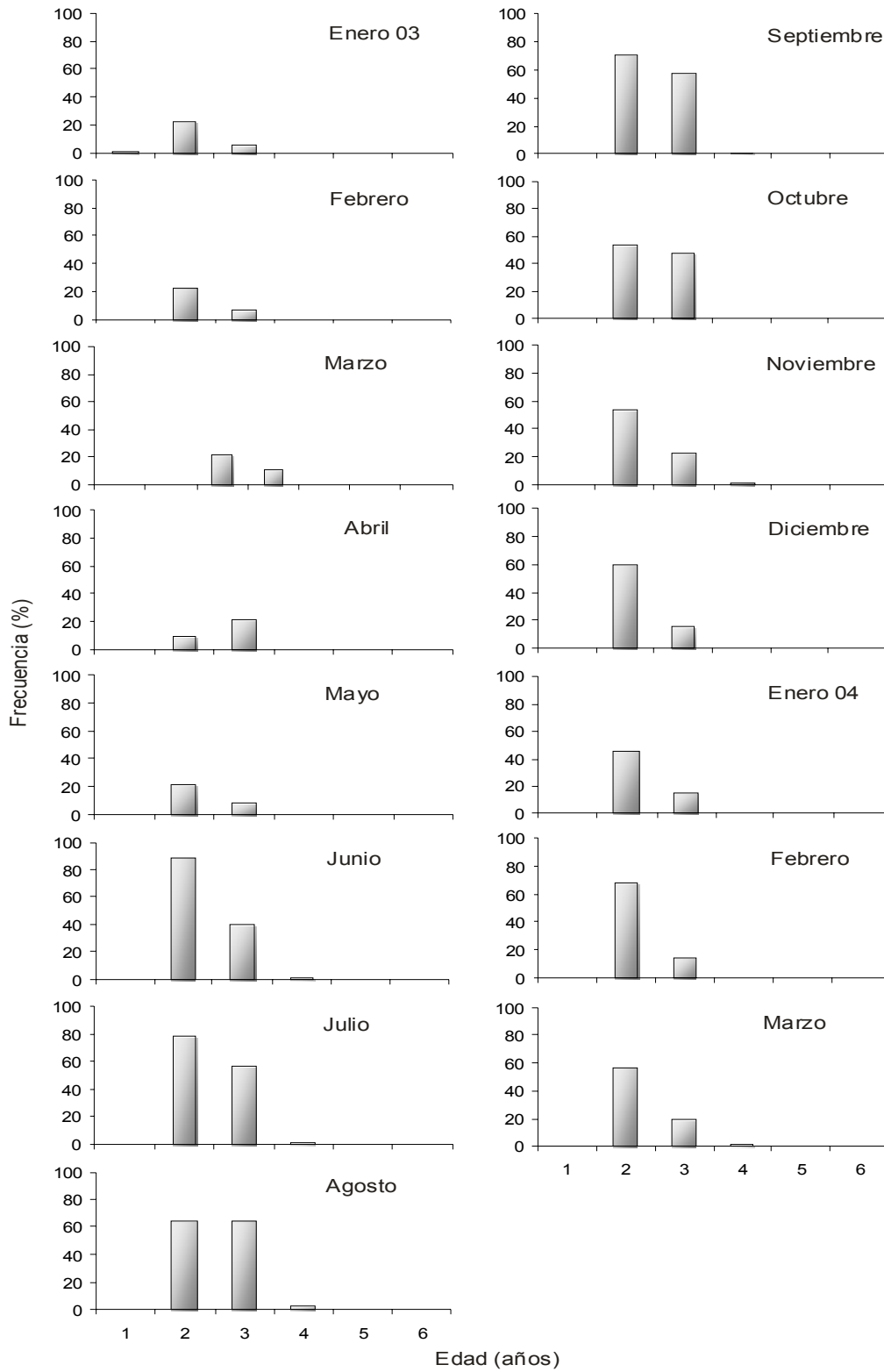


Figura 9. Frecuencia de edad por mes de *Phataria unifascialis*.

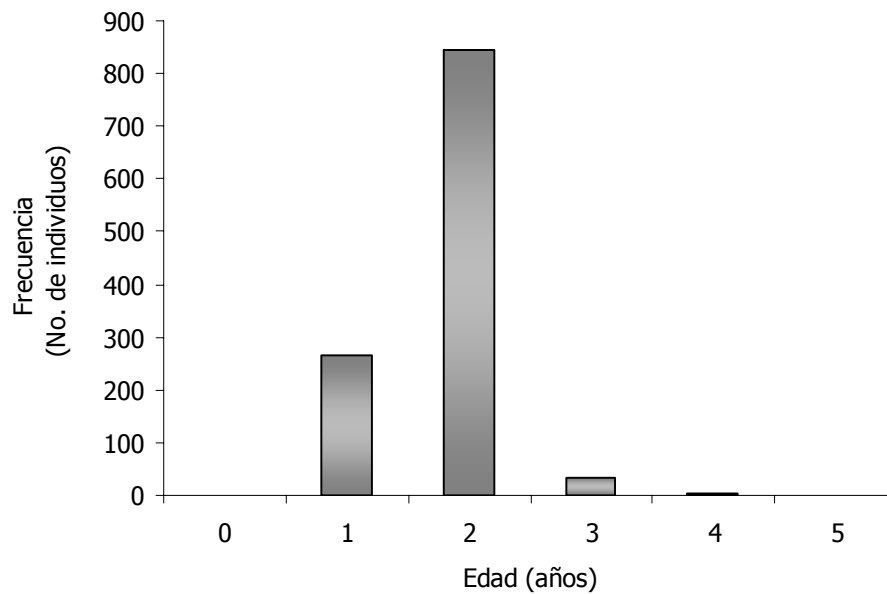


Figura 10. Estructura por edad de *Phataria unifascialis* durante el periodo de estudio.

La longevidad se estimó en 5.8 años con un $\alpha = 0.05$. No obstante, durante el muestreo no se encontraron organismos con tallas correspondientes a individuos mayores de 4 años (12.5 a 14 cm).

Mortalidad

La mortalidad natural estimada para la población de *P. unifascialis* que habita Punta Gaviota fue de 0.32; con ésta se generó la gráfica que representa la sobrevivencia (en porcentaje) para cada clase de edad (Figura 11), donde se observa que la mortalidad es baja durante los dos primeros años de edad y después tiende a estabilizarse.

Se observó que el 72 % de los organismos llegó al primer año de edad, mientras que el 52 % llega a los dos años de edad (Fig. 11).

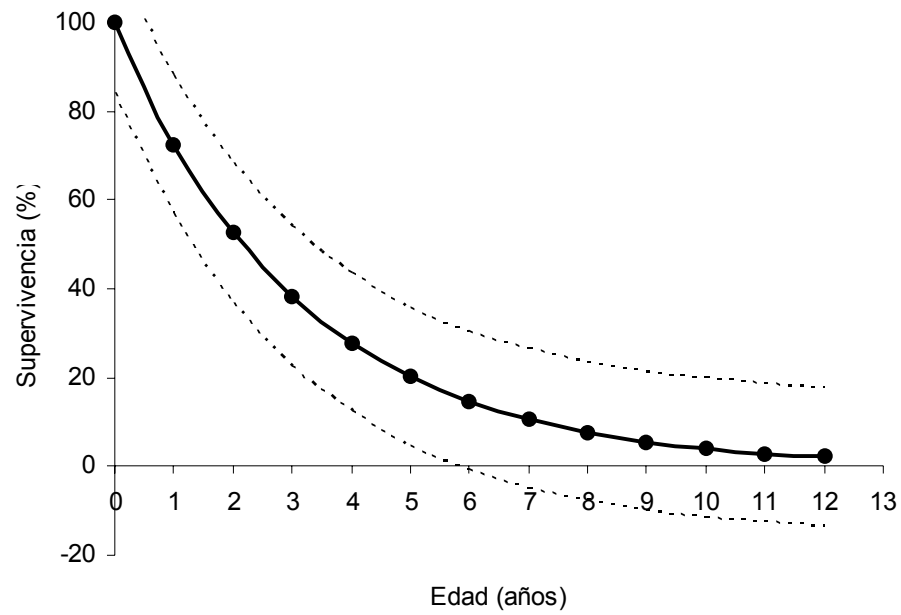


Figura 11. Curva de supervivencia de la estrella de mar *Phataria unifascialis*.

P. unifascialis alcanzó la primera madurez a una talla de 9.3 cm de longitud promedio del radio del brazo y un peso promedio de 41.13 g. características que corresponden a los individuos de 2 años de edad (Fig. 12).

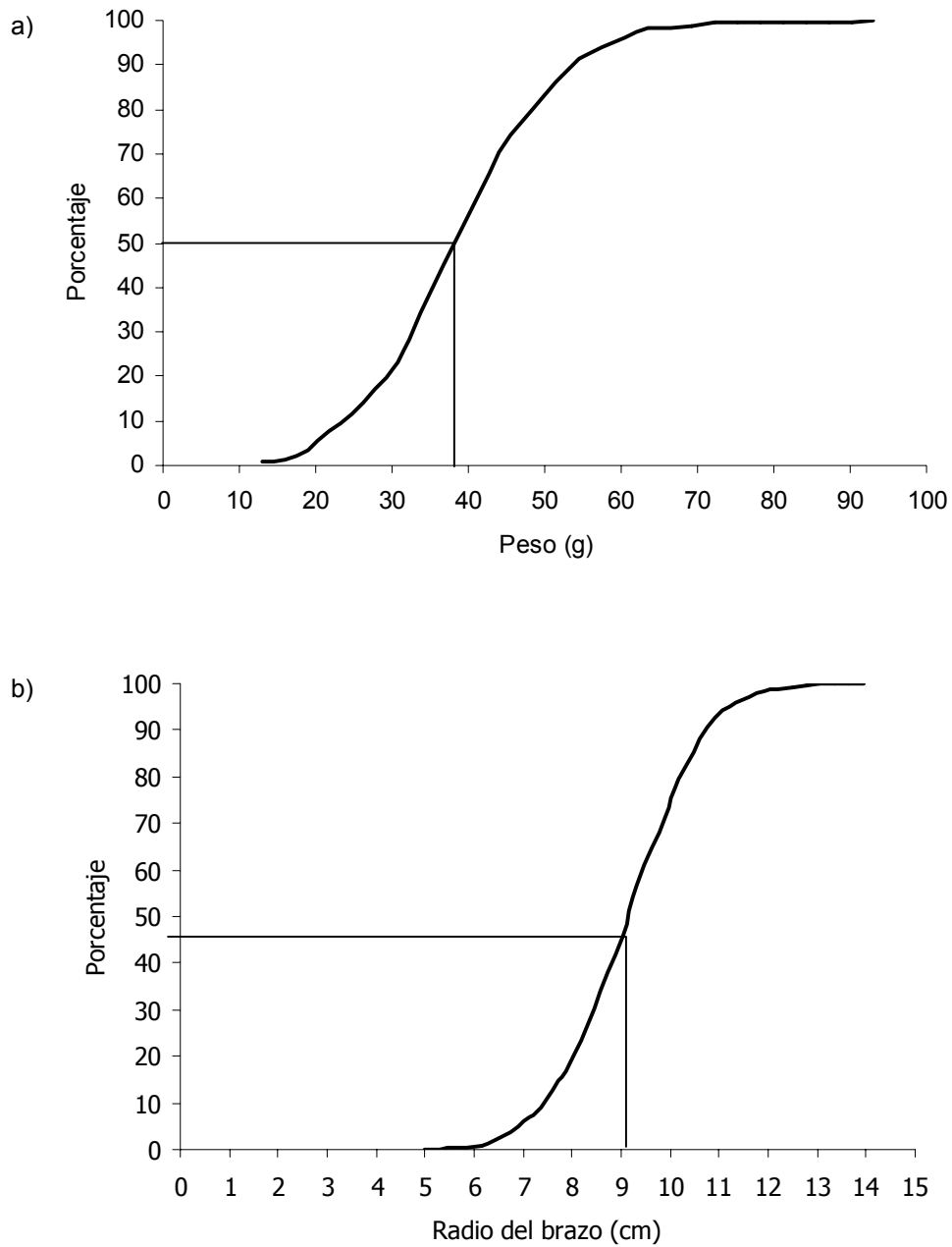


Figura 12. Estimación de primera madurez para la población de *Phataria unifascialis*.

a) peso, b) radio del brazo.

REPRODUCCIÓN

Fases gonádicas

Se describieron cinco fases gonádicas: Indiferenciada, desarrollo, madurez, desove y postdesove.

FASE INDIFERENCIADA

Durante esta fase no se observaron células femeninas o masculinas, por lo que no se puede determinar el sexo del organismo. La pared folicular es gruesa y el espacio germinal se encontró lleno de tejido conjuntivo; no se observó la presencia de células fagocíticas, ni de células germinales en la pared folicular (Lámina 1).

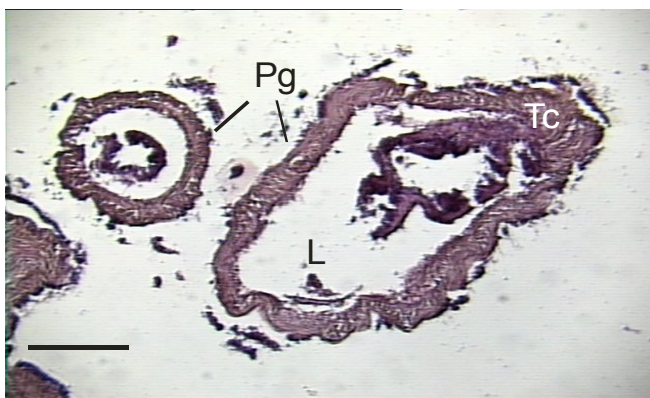
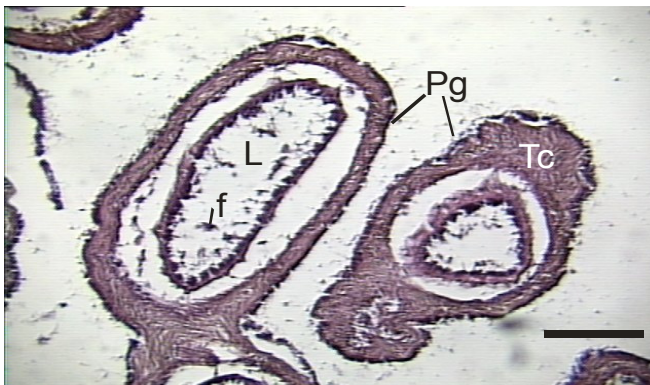


Lámina 1.

Fase Indiferenciada.

Tc = tejido conjuntivo,

L = lumen,

Pg = pared gonadal,

F = fagocitos.

Escala 100 μ m. 40x.

HEMBRAS

DESARROLLO

Existió una gran proliferación de gametos. Las ovogonias son células esféricas que se tiñen fuertemente con hematoxilina evidenciando el material nuclear y se encontraron unidas al epitelio germinal. La pared folicular es gruesa durante esta fase. A lo largo de la pared se observaron los ovocitos previtelogénicos, el núcleo se observa elongado y las ovogonias se adhieren al citoplasma basófilo alrededor del folículo, y se concentran en el centro del folículo. El núcleo contiene un nucleolo periférico. Las paredes del folículo presentaron pliegues que desaparecieron conforme avanzaba el estadio (Lámina 2).

MADUREZ

En el núcleo de la célula se presentó un nucleolo periférico. Los folículos se encontraron llenos de ovocitos. Los espacios intracelulares existentes en el lumen son pequeños. La pared folicular es delgada. Hubo poco tejido conjuntivo y no se observaron células fagocíticas (Lámina 3). En ocasiones se observaron atresias de color naranja.

DESOVE

En la gónada desovada encontramos el lumen de los folículos con espacios vacíos cada vez mayores. La pared folicular se fue engrosando y comenzó a formar pliegues. La presencia de las células fagocíticas fue evidente. La cantidad de tejido conjuntivo se incrementó durante este periodo. Los ovocitos remanentes redujeron su tamaño y

perdieron su forma. Se observaron ovocitos previtelogénicos adheridos a la pared folicular, lo cual sugiere una producción continua de ovocitos (Lámina 4).

POSTDESOVE

Las gónadas en este estadio fueron fácilmente identificables porque el lumen de los folículos se encuentra casi vacío, y se observaron algunos ovocitos amorfos que han reducido su tamaño. La pared folicular se engrosó nuevamente y la presencia de tejido conjuntivo fue evidente. Se observó un gran número de células fagocíticas dentro y fuera de los folículos; estas células reabsorben el material gametogénico que no es expulsado durante el desove. (Lámina 5).



Lámina 2.

Fase de desarrollo.

L = lumen,

Pg = pared gonadal,

Tc = tejido conjuntivo,

ov = ovocitos previtelogénicos.

Escala 100 μ m. 40x.

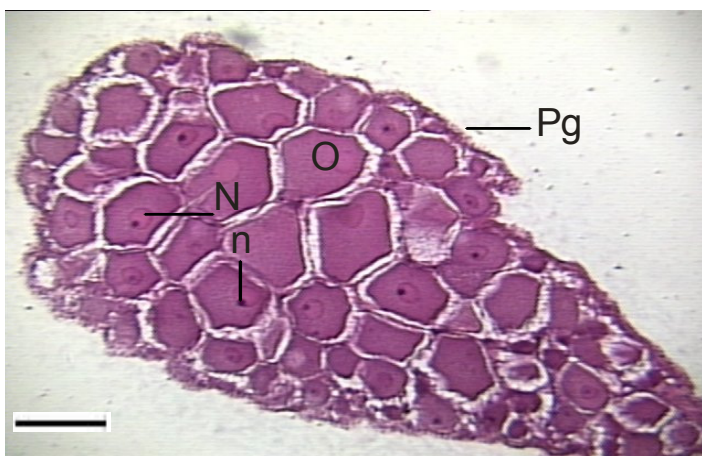


Lámina 3.

Fase de madurez.

Pg = pared gonadal,

O = ovocitos,

N=núcleo,

n = nucléolo.

Escala 100 μ m. 40x.

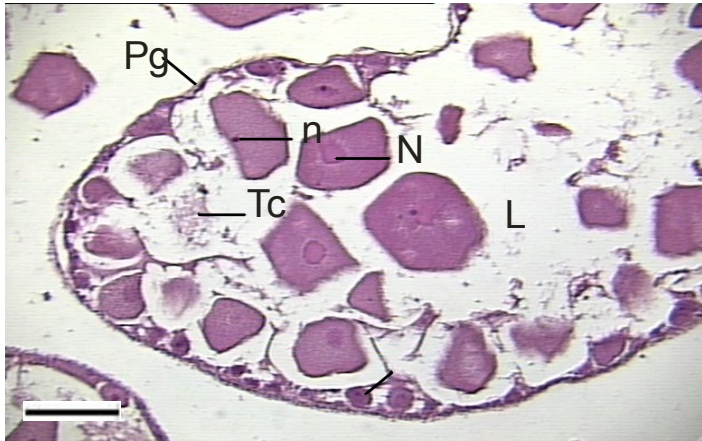


Lámina 4.

Fase de desove.

L = lúmen,

Pg = pared gonadal,

Tc = tejido conjuntivo,

N = núcleo,

n = nucléolo.

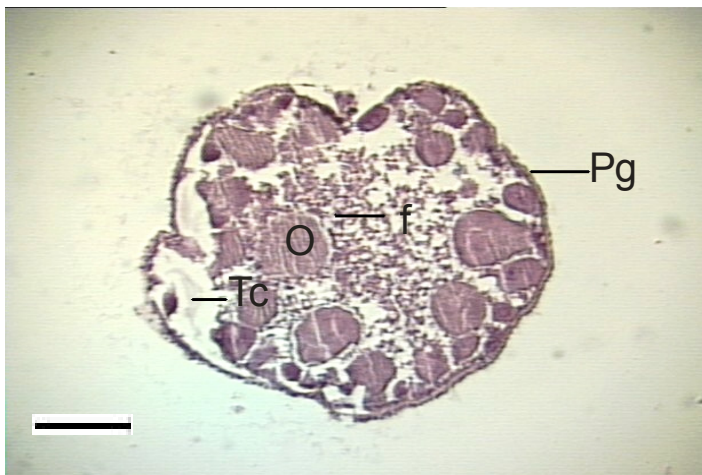
Escala 100 μ m. 40x.

Lámina 5.

Fase de postdesove.

Pg = pared gonadal,

Tc = tejido conjuntivo,

O = ovocitos,

f = fagocitos.

Escala 100 μ m. 40x.**MACHOS****DESARROLLO**

La gónada masculina presentó espermatogonios de apariencia esférica con un aspecto grumoso, y ocuparon la parte interna de la pared de los túbulos que se observó fuertemente teñida de color violeta. La pared tubular era gruesa y con tejido conjuntivo. Los pliegues de las paredes eran conspicuos durante este periodo. Conforme van madurando, los espermatocitos se dirigieron al centro del lumen. Se pudieron observar espacios libres en el epitelio germinal y las células fagocíticas se encontraron en bajas densidades o ausentes (Lámina 6).

MADUREZ

Los túbulos se encontraron maduros y repletos de espermatozoides basófilos de forma esférica. En esta fase, la pared tubular fue delgada. No se observó espacio libre entre los espermatozoides y no hubo presencia de fagocitos (Lámina 7).

DESOVE

En las gónadas eyaculadas, la capa de espermatozoides presente en el lumen disminuyó su grosor. La pared tubular comenzó a engrosar y hubo presencia de espacios entre los espermatozoides y la pared tubular. En esta etapa aún se observaban espermatozoides remanentes cerca de la pared tubular y tejido conjuntivo. Nuevamente se observó el incremento del número de fagocitos (Lámina 8).

POSTDESOVE

Dentro de los folículos el espacio germinal estuvo casi vacío, con grupos de espermatozoides y fagocitos. En esta fase la pared folicular es gruesa y las células fagocíticas aumentan en número. El tejido conjuntivo fue abundante (Lámina 9).



Lámina 6.

Fase de desarrollo.

Pg = pared gonadal,
Tc = tejido conjuntivo,
E = espermatozoide,
es = espermatocitos.
Escala 100 μ m. 40x.

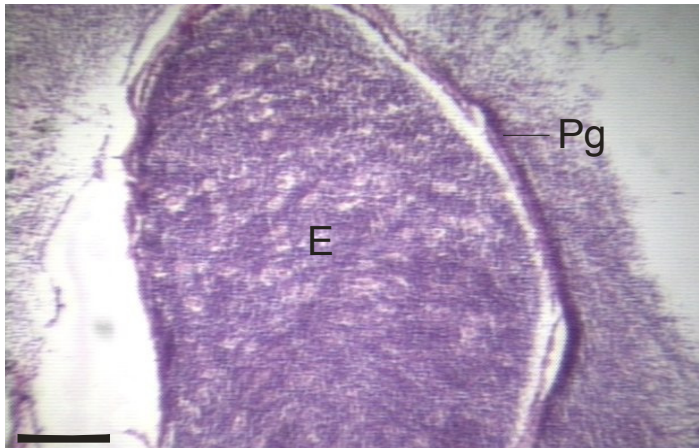


Lámina 7.

Fase de madurez.

Pg =pared gonadal,

E =espermatozoide.

Escala 100 μ m. 40x.

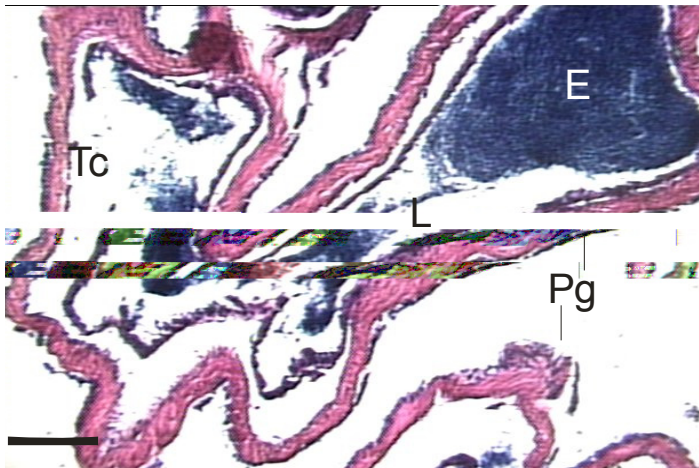


Lámina 8.

Fase de desove.

L = lúmen,

Pg = pared gonadal,

Tc = tejido conjuntivo,

E = espermatozoide.

Escala 100 μ m. 40x.



Lámina 9.

Fase de postdesove.

Pg = pared gonadal,

Tc = tejido conjuntivo,

f = fagocitos.

Escala: 100 μ m. 40x.

HERMAFRODITAS

Se encontraron dos individuos hermafroditas en los meses de febrero y abril de 2003. Estos se caracterizaron por presentar pequeños islotes de túbulos con espermatocitos en fase de desarrollo, mientras que predominaron los folículos con ovocitos en fase de desove (Lámina 10).



Lámina 10.

Hermafrodita.

Pg = Pared gonadal,

Tc = Tejido conjuntivo,

L = lumen,

O = ovocito,

ov = ovocito previtelogenético,

es = espermatogonios.

Escala 100 μ m. 40x.

Ciclo gonádico

Los organismos en fase indiferenciada se observaron a lo largo de todo el periodo de muestreo. Las hembras presentaron los máximos porcentajes en los meses de noviembre y diciembre (47.4 y 66.7%, respectivamente) a una temperatura de 28 y 24 °C; mientras que en los meses de julio y agosto no se presentó esta fase (Fig. 13a). Por otra parte, los machos también presentaron los máximos en noviembre y diciembre (56.2 y 76.2 %, respectivamente), mientras que en julio y agosto no se observó esta fase (Fig. 13b).

Se observó que el patrón de aparición de las fases gametogénicas fue similar tanto en hembras como en machos. La fase de desarrollo se presentó con mayor frecuencia

en los meses fríos. Las hembras presentaron una mayor frecuencia de individuos en desarrollo en el mes de enero (76 %) a una temperatura de 19 °C, y en diciembre a 24°C la frecuencia de aparición fue menor, mientras que en los meses de febrero, marzo y de julio a noviembre no se observó alguna fase (Figura 13a). Los machos en cambio, tuvieron la mayor frecuencia de aparición de ésta fase en el mes de abril a 21°C (62 %) y en diciembre (4 %) la frecuencia fue menor, mientras que de mayo a noviembre no se presentó esta fase (Figura 13b).

La madurez estuvo poco representada en ambos sexos a lo largo del periodo de estudio. Las hembras presentaron individuos maduros en los meses de abril, mayo, agosto, con una mayor presencia en el mes de agosto a una temperatura de 29°C (23 %), mientras que en mayo a una temperatura de 22°C tuvo la menor frecuencia (5 %), no hubo registro en el resto de los meses (Figura 13a). Por otra parte, los machos maduros se encontraron desde febrero a junio y en agosto. La mayor frecuencia se presentó en el mes de febrero a una temperatura de 19°C (24 %), mientras que junio a 25°C fue el mes que tuvo la menor frecuencia de individuos maduros (5 %). En el resto de los meses no se registraron organismos maduros (Fig. 13b).

El desove se presentó a lo largo de todo el año de muestreo. Se encontró que las hembras desovaron principalmente en los meses de mayo (70 %) y julio (88 %) a una temperatura de 22 y 27°C respectivamente, mientras que en febrero se presentó el mínimo a 19°C (7 %). Por otro lado, en enero y septiembre no hubo desove (Fig. 13a). Los machos presentaron el desove más altos en los meses de junio (79 %) y agosto (87 %) a una temperatura de 25 y 29°C respectivamente, mientras que en marzo (7 %) y diciembre (5 %) a temperaturas de 20 y 24°C, se presentaron los mínimos de esta fase (Fig. 13b).

Finalmente, el postdesove se presentó casi todo el año. En las hembras en esta fase, la frecuencia de aparición fue mayor en febrero a una temperatura de 19°C (79 %), mientras que en mayo no se presentó (Fig. 13a). En cambio en los machos la mayor frecuencia de aparición fue en el mes de octubre a una temperatura de 29°C (62 %), mientras que en diciembre a 24°C fue la más baja (5 %) y en los meses de abril, mayo y junio no se presentó esta fase (Fig. 13b).

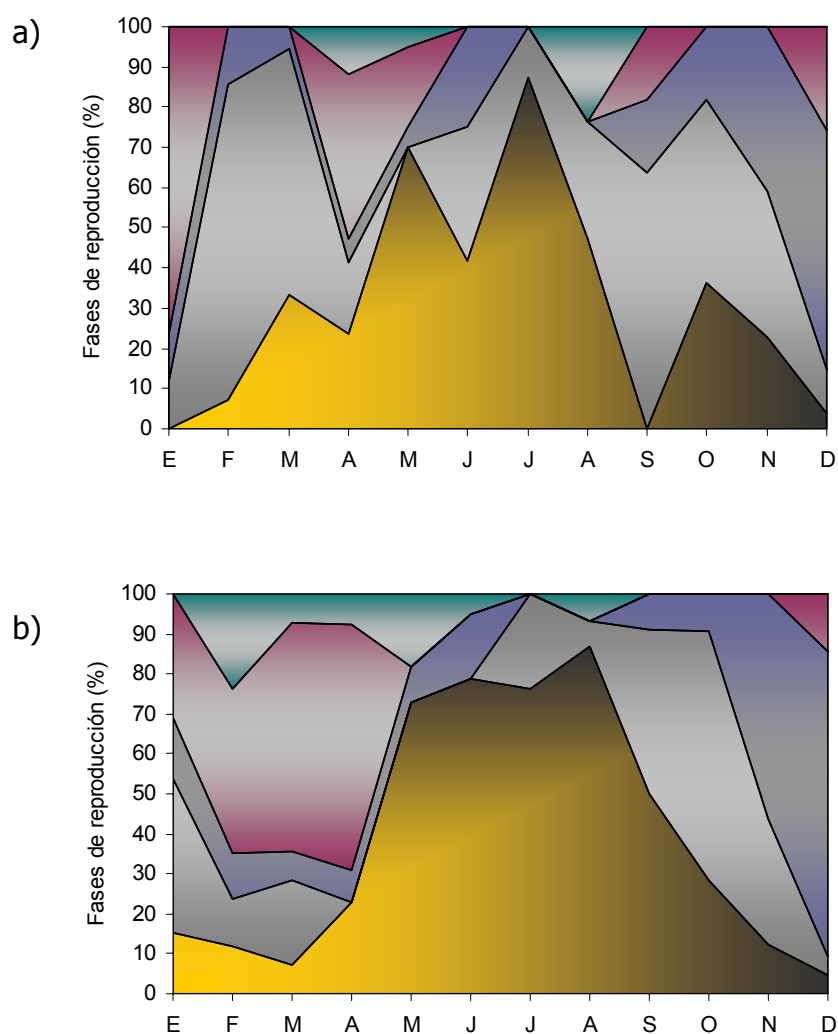


Figura 13. Fases gonádicas de *Phataria unifascialis*. a) Hembras, b) Machos.

■ Desove ■ Postdesove ■ Indiferenciado ■ Desarrollo ■ Madurez

Cuantificación y medición de ovocitos

Se midió un total de 4,329 ovocitos en tres estadios. En la figura 14 se puede observar que en los meses fríos (enero a marzo y noviembre y diciembre) se presentan los ovocitos de menor talla ($<60 \mu\text{m}$), mientras que en los meses cálidos (julio a octubre) se observaron ovocitos de mayor tamaño (100 a $120 \mu\text{m}$). Los ovocitos con un diámetro $<60 \mu\text{m}$ corresponden a la fase de desarrollo, y los de un diámetro de 60 a $120 \mu\text{m}$ a la fase de desove, mientras que los ovocitos con un diámetro $>120 \mu\text{m}$ se relacionan con la fase de madurez. La variación del tamaño a lo largo del tiempo demuestra como es la progresión de las fases gametogénicas en el año.

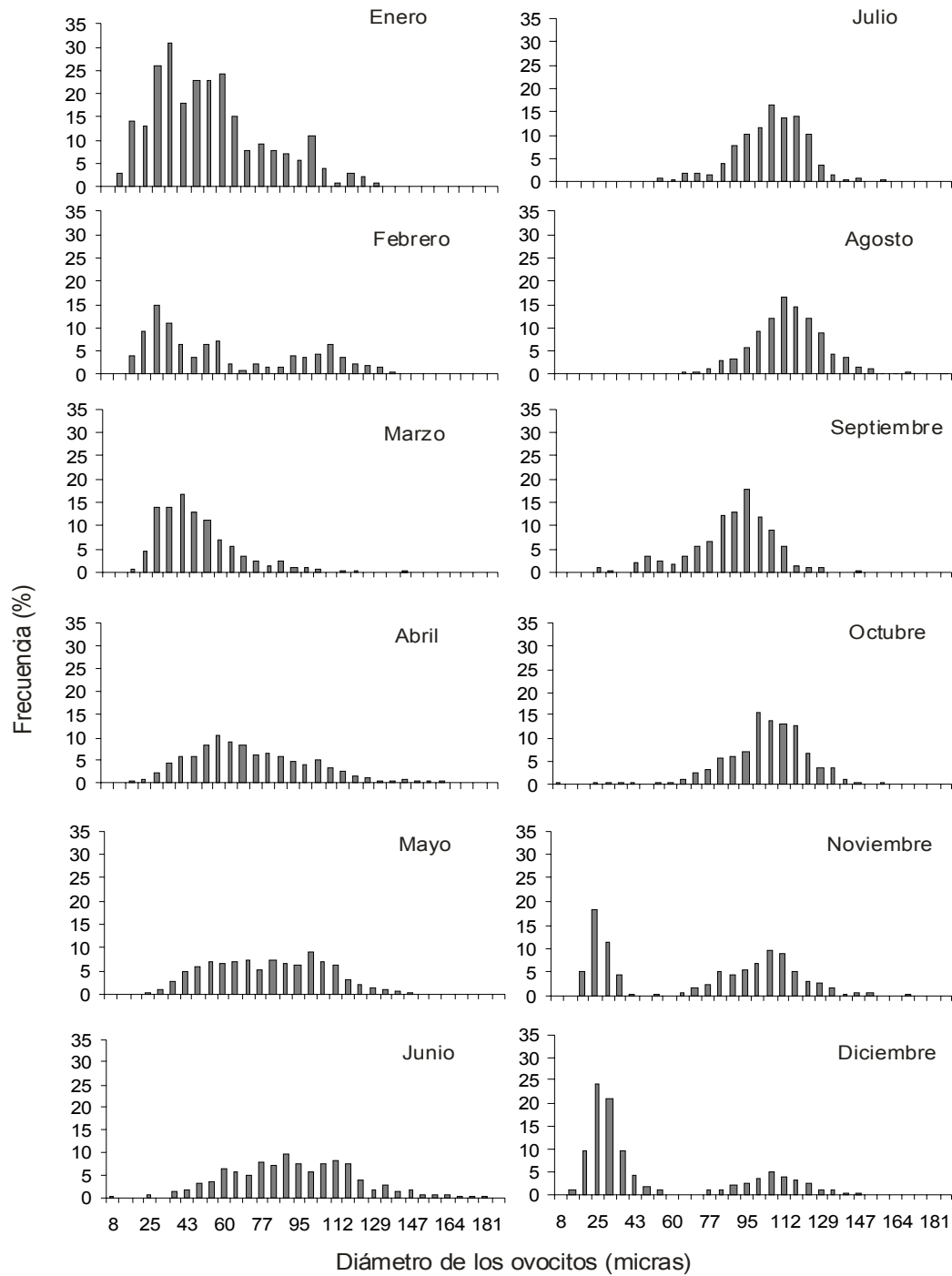


Figura 14. Diámetro de los ovocitos de *Phataria unifascialis* en el periodo enero-diciembre de 2003.

El análisis del diámetro anual muestra que los ovocitos presentaron una tendencia bimodal. Se observaron dos máximos, el primero de 31 y el segundo de 106 μm , los cuales corresponden a la fase de desarrollo y de desove, respectivamente (Fig. 15).

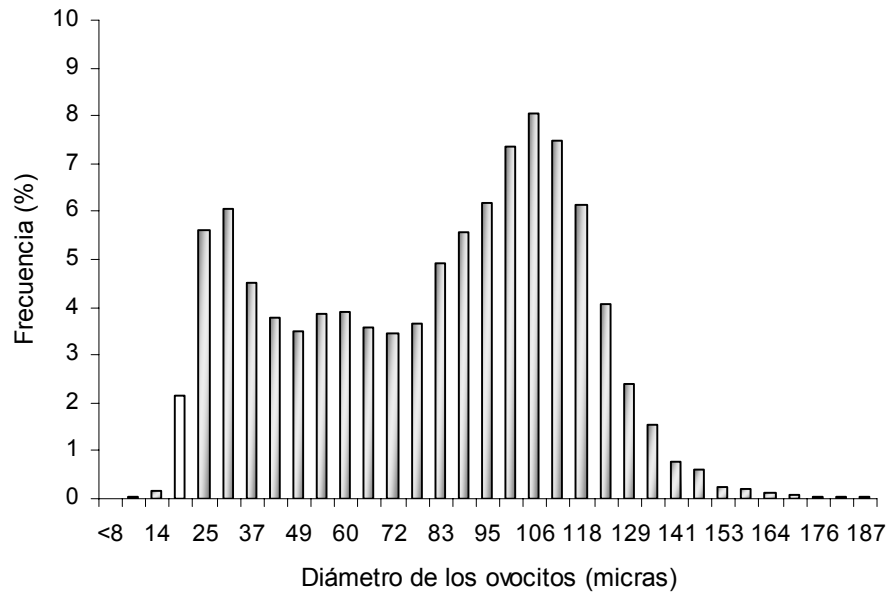


Figura 15. Estructura del diámetro de los ovocitos de *Phataria unifascialis* para el periodo de muestreo.

Proporción sexual

Para la estimación de la proporción sexual se analizaron 364 individuos, de los cuales 163 fueron hembras y 160 fueron machos. Se encontraron 39 organismos indiferenciados con mayor presencia en los meses de noviembre y diciembre (47 y 67 %, respectivamente) (Fig. 15) y dos hermafroditas que se encontraron en febrero y abril.

La frecuencia de hembras fue mayor que la de los machos (1H:0.9M), sin embargo, la proporción no difirió significativamente de 1:1 ($\chi^2= 21.92$, gl 11, $p> 0.05$). A pesar de que no hubo diferencias en la proporción global, se presentaron algunas dentro del periodo de muestreo, donde en algunos meses predominaron los machos (febrero, junio, julio, septiembre y octubre), y en los restantes las hembras (Fig. 16).

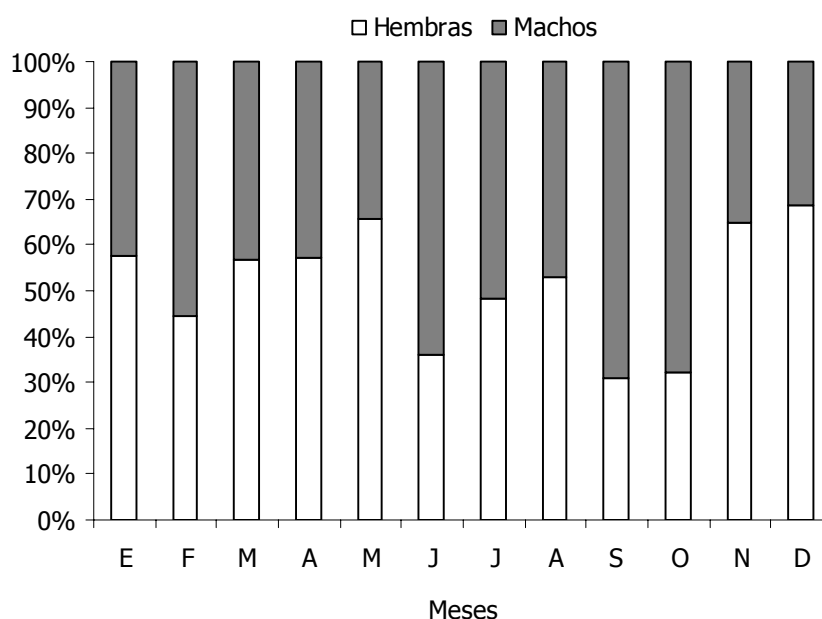


Figura 16. Proporción de sexos de *Phataria unifascialis* durante el periodo de estudio.

Relación de la temperatura con el ciclo reproductivo.

No se observó una relación directa entre la temperatura con el ciclo reproductivo ($r=-1.16$, $p= 0.21$), no obstante, la relación individual de cada fase gonádica con la temperatura, muestra que la fase de desarrollo presentó una relación significativa y negativa ($r^2=0.634$, $p= 0.001$) (Fig.17 b). En la figura 18, se observa que la fase de desove se llevó a cabo bajo diferentes temperaturas, presentando la mayor intensidad en los meses cálidos (mayo a agosto) con una variación de la temperatura de 22 a 29 °C, para ambos sexos.

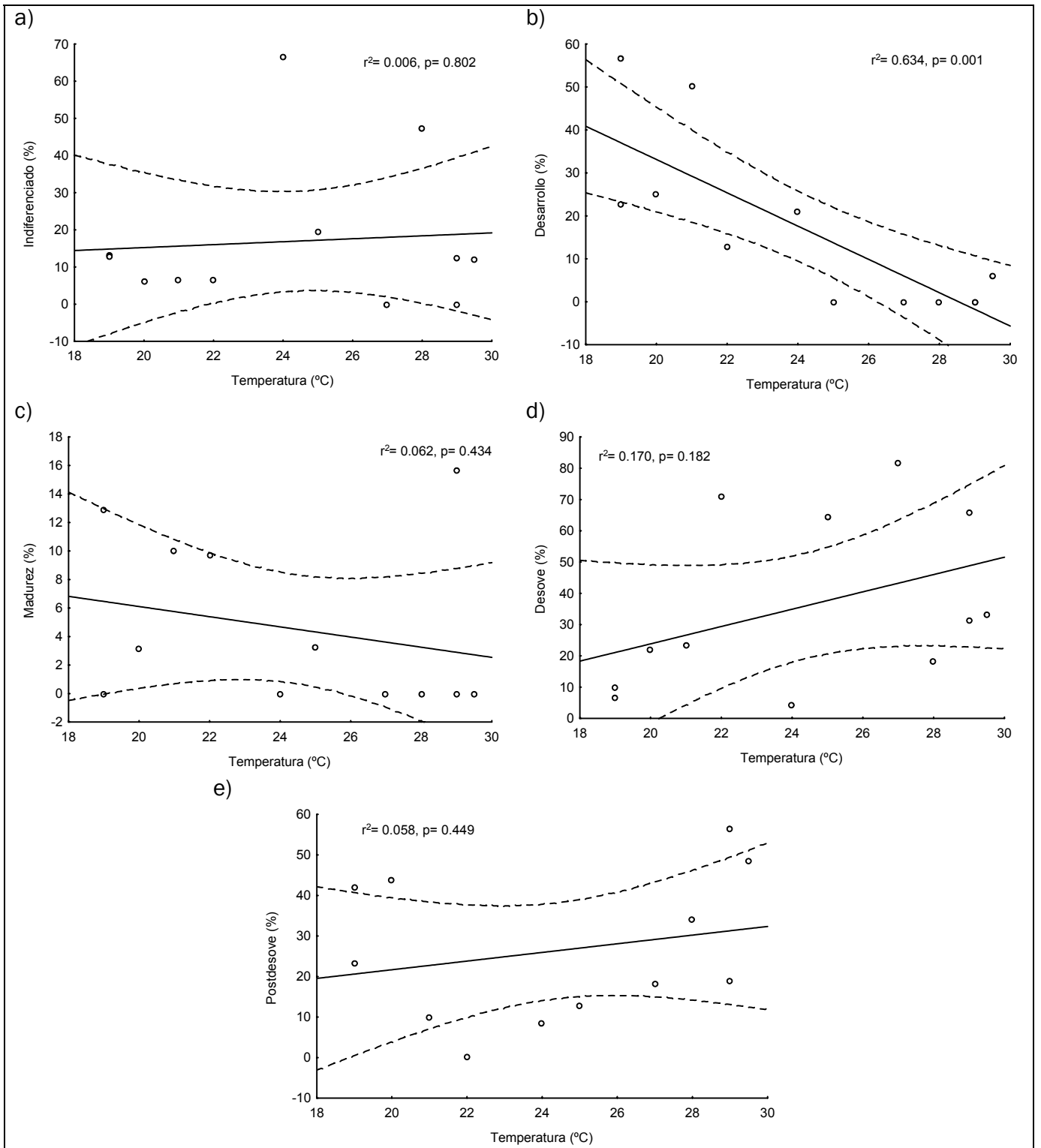


Figura 17. Relación de la temperatura con las fases gametogénicas para ambos sexos.

a) Indiferenciados, b) Desarrollo, c) Madurez, d) Desove y e) Postdesove.

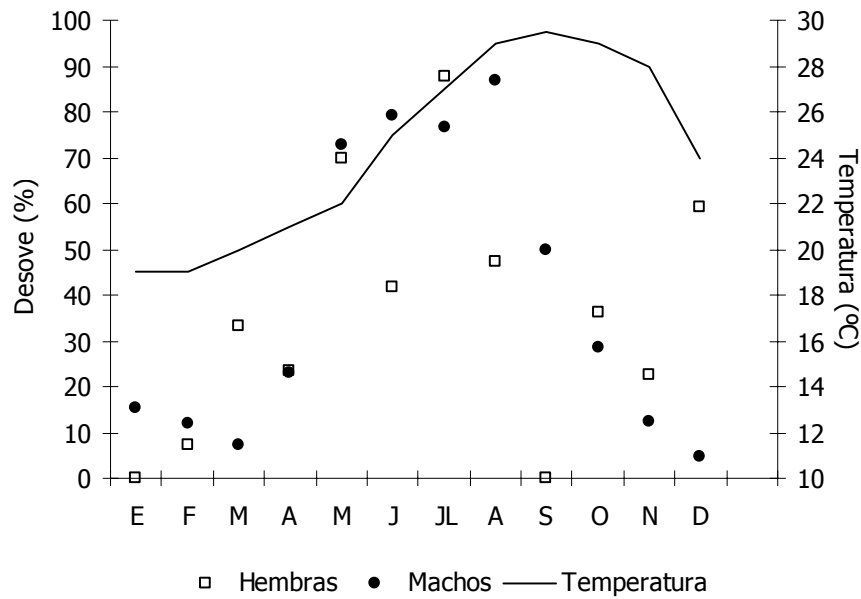


Figura 18. Relación de la temperatura con el porcentaje de hembras y machos desovantes de *Phataria unifascialis* para el año 2003.

Parasitismo

El nivel de parasitismo total obtenido para la población fue del 3.14%, mientras que el índice de intensidad mostró que por cada estrella parasitada existían 1.17 organismos de *T. callista*. En general, se encontró que los parásitos estaban en la parte inferior de los brazos, cerca de la parte oral de las estrellas (Lámina 11a y b).

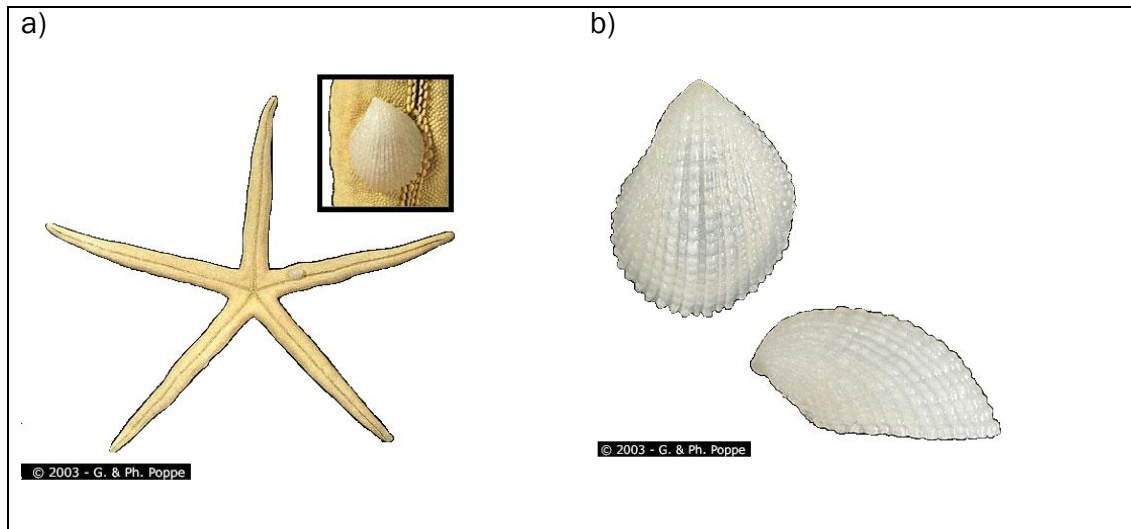


Lámina 11. Parasitismo en *Phataria unifascialis*. a) Parásito en la parte inferior del brazo; b) *Thyca callista* vista superior y lateral.

Se observó que el porcentaje en el número de parásitos fue mayor en los meses de agosto y septiembre (15 y 18 % de *T. callista*, respectivamente), mientras que en febrero de 2003 y enero de 2004 no hubo registro (Fig. 19). Aunque se observa una mayor incidencia de parásitos en hembras que en machos no se presentaron diferencias significativas ($\chi^2=2.6$, $p<0.92$). (Tabla III), con una proporción del parasitismo de 2.25H:1M. El 42 % del parásito gasteropodo *T. callista* se encontró adherido principalmente en los individuos de *P. unifascialis* con una talla de 9.5 cm (radio de brazo), los cuales pertenecen a la clase de edad de 2 años (Fig. 20 y 21). También se observó que generalmente el 57 % de los parásitos se fijaron después de que los individuos de *P. unifascialis* alcanzaron la primera madurez (Fig. 22).

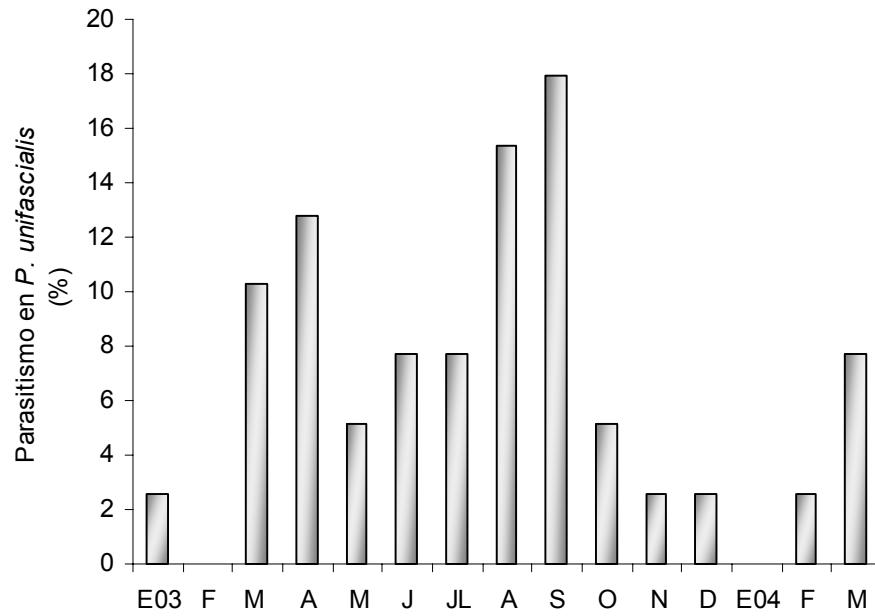


Figura 19. Parasitismo a lo largo del periodo de muestreo, enero de 2003 a marzo de 2004.

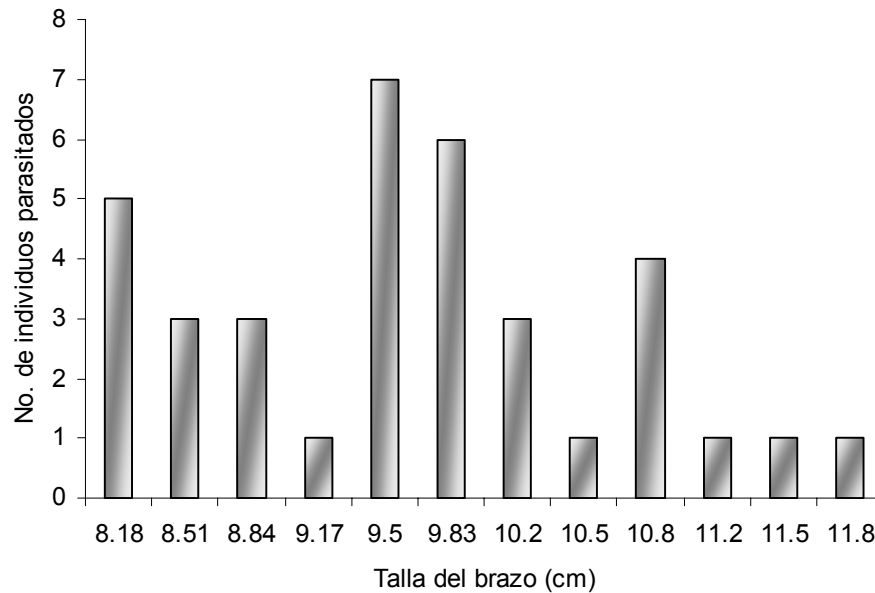


Figura 20. Frecuencia de individuos parasitados respecto al radio del brazo de *Phataria unifascialis*.

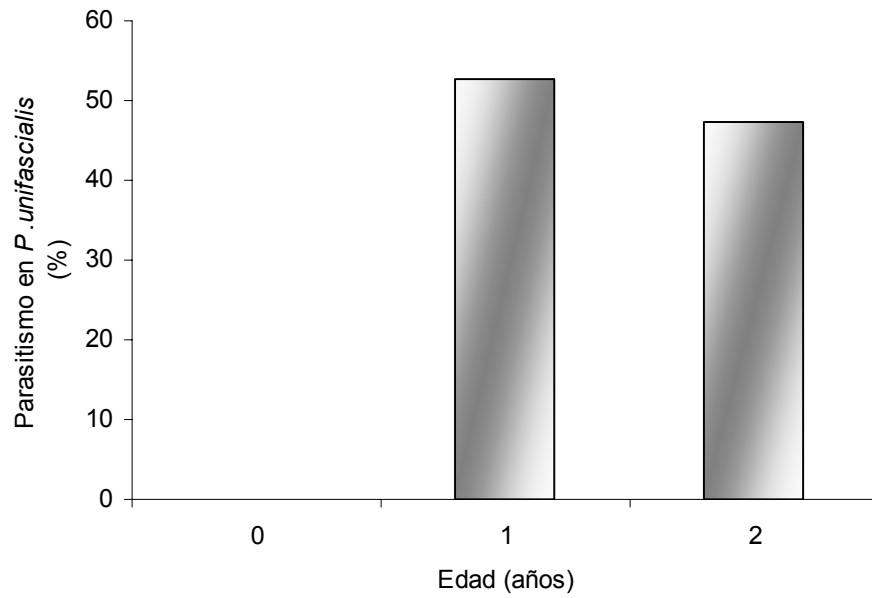


Figura 21. Incidencia del parasitismo en diferentes edades de *Phataria unifascialis*.

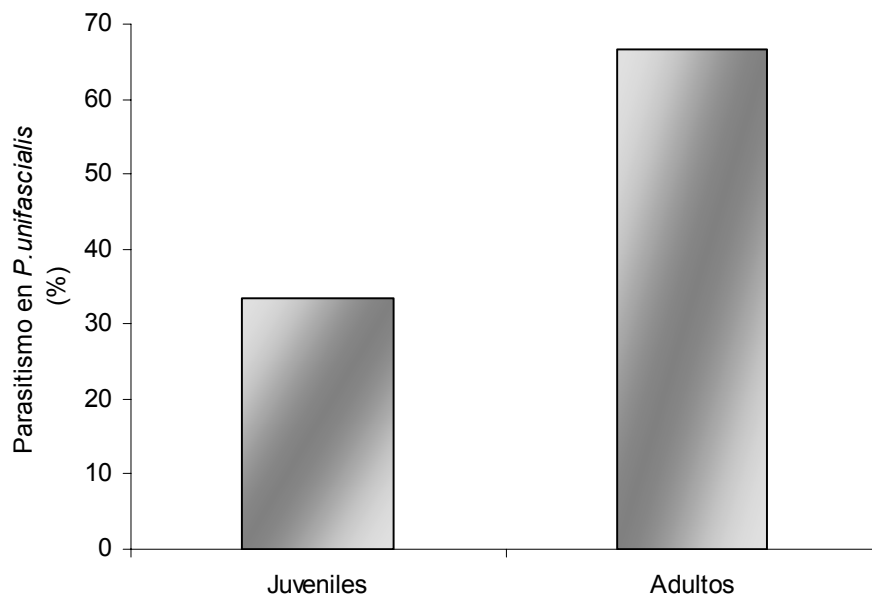


Figura 22. Porcentaje de parasitismo en organismos maduros e inmaduros de *Phataria unifascialis*.

En la tabla III se muestra el porcentaje de los parásitos encontrados en cada una de las fases gametogénicas; donde la mayoría de estos se encontraron presentes en la fase de desove de *P. unifascialis* y con menor incidencia en la fase de madurez y en los organismos indiferenciados.

Tabla III. Incidencia de parasitismo en hembras y machos, y en las fases gametogénicas.

No. de parásitos	Fase gametogénica	Porcentaje (%)	Parásitos por hembra	Parásitos por macho
10	Desarrollo	27	6	4
2	Madurez	5	2	0
17	Desove	46	9	8
7	Postdesove	19	4	3
1	Indiferenciado	3		
			21	15

VII. Discusión

DINÁMICA POBLACIONAL

Densidad

En el presente estudio la densidad encontrada para *P. unifascialis* fue de 0.30 ± 0.48 ind/m² (Fig. 2), la cual es cercana a la reportada por Morgan y Cowles (1996) en bahía de Loreto (0.25 ind/m²). Sin embargo, es inferior a la reportada por los mismos autores en bahía de Los Ángeles (1 ind/m²), al norte del golfo de California (Morgan y Cowles 1996), esta diferencia puede deberse a las características del medio y la topografía de cada localidad (Lewis y Wainwright 1985, Morrison 1988). De tal forma que los patrones de densidad están influenciadas por tamaño, la disponibilidad de alimento y en la presión de depredación a la que se encuentra sujeta la especie.

Además de la variabilidad de acuerdo al sustrato (Martín *et al.* 2001), la diferencia en densidad, puede ser atribuida a las actividades antrópicas (sobre-pesca, aporte de contaminantes, etc.) (Foster 1987, McClanahan y Muthiga 1988, 1989, Grigg y Dollar 1990, Rogers 1990), Como es el caso de bahía de Loreto, donde la extracción es de 1,500 individuos al año (Reyes-Bonilla *com. per.*), una sustracción de esta magnitud puede afectar a esta especie. En la bahía de La Paz, esta especie es utilizada con fines artesanales, y aunque no se tiene un estimado de la extracción de esta estrella en la zona, se puede observar que la demanda es alta.

Otro caso son los eventos naturales (Eakin 1988, Levitan 1989). Como el acontecido durante el año 2003 al presentarse dos tormentas tropicales, Ignacio (22 al 27 de agosto con velocidades de 110 a 140 km/h) y Marty (18 al 24 de septiembre con velocidades de 160 a 195 km/h), respectivamente) que posiblemente afectaron la estructura de la comunidad coralina, y por ende la abundancia de *Phataria unifascialis*.

En este sentido Aronson (1993), menciona que los huracanes pueden afectar la abundancia y composición de especies de la epifauna sesil de los arrecifes de coral, los cuales causan una alta mortalidad de estos organismos en las zonas afectadas por las tormentas. Lo anterior se reflejó en la abundancia de *P. unifascialis*, la cual se ve disminuida a partir del mes de agosto, después del paso del huracán "Ignacio", en comparación con los dos primeros meses de muestreo, donde la densidad en junio y julio de 2003 era de 0.69 y 0.79 ind/m², y después del huracán varió de 0.45 a 0 ind/m² (Fig. 2)

Estructura de tallas

El radio del brazo en los asteroideos es variable (Hyman 1955, Lawrence 1987). Hay estrellas que miden uno o dos centímetros desde la punta de un brazo a otro, aunque la mayoría de las especies son de talla media (10 a 30 cm), y existen algunas especies que llegan a ser más grandes (50 - 60 cm).

Para la zona de estudio la estructura de tallas de *P. unifascialis* mostró una marcada presencia de organismos de talla media (moda 9.3 cm de radio de brazo, Fig. 3) y una presencia menor de organismos pequeños (< 8.5 cm de radio de brazo) y grandes (> 10 cm de radio de brazo), esto es debido a que los individuos jóvenes son difíciles de registrar debido a que es muy raro encontrarlos, mientras que los mas grandes son más fáciles de capturar. No obstante, la población de *P. unifascialis* presentó tallas mayores a las reportadas por Morgan y Cowles (1996) para las localidades de bahía de Loreto y bahía de los Ángeles en el golfo de California (Anexo - I Tabla VI).

Los factores que influyen en la talla de los organismos son los factores bióticos y abióticos (Hyman 1955, Shick *et al.* 1981, Lawrence *et al.* 1986, Lawrence 1987, Levitan 1989, McClintock *et al.* 1995, Morgan y Cowles 1996, Martín *et al.* 2001), como son la temperatura, la densidad, la disponibilidad de alimento, la mortalidad natural y la depredación (Lessios *et al.* 1984, Levitan 1989), los cuales afectan el crecimiento individual de los organismos, por ejemplo, si hay una alta densidad de organismos en la misma área, la disponibilidad de alimento puede reducirse con lo cual los individuos utilizarán los recursos energéticos de que disponen para llevar a cabo los procesos de reproducción y no de crecimiento. La diferencia en la talla de *P. unifascialis* con respecto a otras localidades del golfo puede deberse a que haya una mayor disponibilidad de alimento, o a algún otro factor o factores desconocidos.

Crecimiento

Durante el estudio se encontró que el crecimiento individual de *P. unifascialis* fue alométrico (2.05) (Fig. 7), es decir, cuando los individuos son pequeños se puede observar que el disco es grande y los brazos cortos, mientras que cuando las estrellas van creciendo el disco se observa pequeño y los brazos largos. Este tipo de crecimiento ha sido reportado para otros equinodermos como: la estrella *Astropecten irregularis* (Freeman *et al.* 2001) y el erizo *Strongylocentrotus droebachiensis* (Munk 1992).

Como se mencionó anteriormente, la densidad juega un papel importante en el crecimiento de los equinodermos, como es el caso del asteroideo *Oreaster reticulatus* y los equinoideos del género *Diadema*, que tienen la capacidad de reducir la talla del cuerpo cuando se presentan grandes densidades y por ende el recurso alimenticio se

ve limitado (Scheibling 1980, Lessios 1984). No obstante, para *P. unifascialis* no se ha reportado este tipo de comportamiento, sin embargo, no debe ser descartado ya que durante el estudio se observaron organismos menores a la talla reproductiva estimada que se encontraban en alguna fase reproductiva.

Conand (1982) menciona que los valores específicos de los parámetros de crecimiento en equinodermos están determinados por su historia de vida y la presión selectiva local de cada especie y población. Durante el presente estudio se encontró que *P. unifascialis* presentó una talla máxima estimada (D_{∞}) de 16 cm de radio de brazo con un crecimiento de 0.52, con una sobrevivencia de 5.8 años. La tasa de crecimiento de esta estrella alta, comparada con otros equinodermos como, la estrella *Asterina miniata* ($k= 0.005$) (Rumrill 1989), los erizos *Strongylocentrotus franciscanus* ($k= 0.09$) (Ebert y Russell 1992), *Sphaerechinus granularis* ($k= 0.23$) (Jordana et al. 1997) y el holoturoideo *Isostichospus fuscus* ($k= 0.24$) (Herrero-Pérezrul et al. 1999). Como se mencionó anteriormente la tasa de crecimiento esta relacionada con la densidad y el alimento (Scheibling 1980, Lessios 1984), de ahí que varíe entre poblaciones.

P. unifascialis presentó un alto porcentaje de organismos en el segundo año de vida (~22 %), el cual es menor en comparación con lo reportado para otros equinodermos como, las estrellas *Tosia parva* y *Anthenoides piercei* (McClintock et al. 1995), *Astropecten irregularis* (Freeman et al. 2001), el holoturoideo *Isostichospus fuscus* (Herrero-Pérezrul et al. 1999), los erizos *Heterocentrotus mammillatus* (Dotan 1990), *Strongylocentrotus franciscanus* (Ebert y Russell 1992) *Sphaerechinus granularis* (Jordana et al. 1997), *Tripneustes depressus* (González-Peláez 2001) (Anexo-I Tabla VII).

El hecho de que el crecimiento de *P. unifascialis* sea rápido, implica que esta estrella puede alcanzar la edad reproductiva en sus primeros años de vida, lo que trae consigo que la población pueda mantener un número relativamente constante en el área de estudio.

Mortalidad

La estimación de la tasa de mortalidad de la población de *P. unifascialis* fue de 0.32, donde ~30 % de la población no alcanza el primer año de edad. El hecho de que esta estrella presente una alta mortalidad en el primer año de vida, está relacionado a que presenta un crecimiento rápido y una actividad reproductiva a temprana edad.

Sin embargo, no se encontraron estudios sobre la estimación de la tasa de mortalidad en otras especies de estrellas, aunque Ebert (1982) reporta que solo el 1% de la población del erizo *H. mammillatus* llega a los 40 años de vida, mientras que Levitan (1989), reporta que el erizo *Diadema antillarum* presentó una tasa de mortalidad del 63 % anual. Por su parte, Herrero-Pérezrul et al. (1999) reportaron que el holoturoideo *Isostichopus fuscus* tiene una tasa de mortalidad de 0.35, la cual menciona que fue baja comparada con otros holoturoideos.

La tasa de mortalidad de los equinodermos está dada por diversos factores que influyen en los organismos como: la depredación, diversos patógenos, mareas muy bajas, así como las tormentas (Levitan 1989, Rumrill 1989, Dotan 1990, Herrero-Pérezrul et al. 1999) que afectan la estructura de las poblaciones. No obstante, en el área de estudio no se midió el efecto de la depredación, pero es posible que la incidencia de las tormentas tropicales Ignacio y Marty durante los meses de agosto y septiembre, respectivamente, durante el periodo de muestreo pudieran influir en la

tasa de mortalidad de esta especie (Aronson 1993); por lo cual el valor estimado de la mortalidad pueda estar sobreestimado.

REPRODUCCIÓN

Ciclo gonádico

Durante todo el año de trabajo se observó que las fases de gametogénesis de *P. unifascialis* se presentaron en los diferentes meses, en ambos sexos (Fig. 13). La fase de desarrollo se caracterizó por estar presente durante los meses fríos (diciembre a abril) con un porcentaje del 15.2 % de frecuencia de aparición, mientras que la de madurez casi no se observó (5 %), por otro lado, la fase de desove se presentó todo el año (excepto en septiembre para los machos) siendo la más intensa en comparación con el resto de las fases representando el 37.4 % de la población reproductiva; respecto a la fase de post-desove esta se presentó casi todo el año con un 27.3 % de la población; finalmente, la fase indiferenciada o de reposo presentó una intensidad media durante el estudio (15.1 %) al igual que la fase de desarrollo (Anexo -V Fig. 23).

Al igual que *P. unifascialis*, otros asteroideos presentan un ciclo reproductivo continuo, es decir, una o varias fases gametogénicas se pueden presentar a lo largo del año, como es el caso de *Ctenodiscus crispatus* (Shick et al. 1981) y *Asterina miniata* (Rumrill 1989). Sin embargo, este tipo de ciclo reproductivo difiere de otras estrellas de la misma familia (Ophidiasteridae), como es el caso de *A. pearcie*, *T. parva* y *O. granifer* (Yamaguchi y Lucas 1984, McClintock et al. 1995); así como de otros equinodermos, la estrella *Luidia senegalensis* (Miller y Lawrence 1999); los holoturoideos *Actinopyga echinites* (Conand 1982), *Holothuria forskali* (Tuwo y Conand 1992), *I. fuscus* (Herrero-Pérezrul et al. 1999) y *Holothuria tubulosa* (Despalatović et

al. 2004), los cuales presentan un ciclo anual en el crecimiento gonadal, es decir, que las fases gametogénicas serán más marcadas que en un ciclo continuo.

Cuantificación y medición de ovocitos

En la población de *P. unifascialis*, la proliferación, diferenciación y maduración de los gametos es continua, pero se realiza de forma asincrónica a lo largo del año (Fig. 14), esta misma situación fue reportada para *C. crispatus* (Shick et al. 1981), lo cual no significa que el crecimiento y la maduración asincrónica de los ovocitos sea un simple traslapamiento de las generaciones de los ovocitos.

En lo que corresponde al diámetro de los ovocitos (Fig. 15), el rango de la población de *P. unifascialis* fue desde 60 a 180 μm el cual es menor comparado con otras estrellas dentro de la misma familia. Se ha reportado que para *O. granifer* (Yamaguchi y Lucas 1984) el diámetro de los ovocitos fue de 50 a 500 μm y para *A. piercie* y *T. parva* (McClintock et al. 1995) solo se mencionó que el diámetro de los ovocitos maduros fue de 200 y 600 μm , respectivamente, así como para *C. crispatus* (Shick et al. 1981) el rango es de 30 a 400 μm .

La diferencia en el diámetro de los ovocitos esta dada por diversos factores como, la cantidad y calidad de los huevos (Shick et al. 1981, Yamaguchi y Lucas 1984, McClintock et al. 1995, Miller y Lawrence 1999). De tal forma, que al presentar *P. unifascialis* ovocitos de menor talla que otras especies, se sugiere que los individuos de esta especie tienen un desarrollo larval rápido debido a que las reservas de los huevos son pocas. Otro factor de importancia es la cantidad y calidad del alimento, ya que la limitación de éste puede afectar el potencial reproductivo de *P. unifascialis* (Morgan y Cowles 1996). Por otro lado Graff et al. (1999) hacen mención de que

algunos equinodermos arrecifales desovan con el ciclo lunar (Anexo-IV Tabla VIII). Sin embargo, durante el estudio no se obtuvo ninguna de esta información, para poder determinar cual de los posibles factores antes mencionados influye significativamente sobre la especie.

Proporción sexual

Se observó que *P. unifascialis* mostró una proporción sexual de 1:1 (Fig. 16). Esta proporción es común en otros equinodermos, por ejemplo, en la estrella *Linckia columbiae* (McAlary 1987), en el erizo *S. droebachiensis* (Munk 1992), en los holoturoideos *Actinopyga echinites* (Conand 1982) e *I. fuscus* (Herrero-Pérezrul et al. 1999) y en el ofiuroideo *Odontaster validus* (Stanwell-Smith y Clarke 1998).

De acuerdo a Lawrence (1987) y Herrero-Pérezrul et al. (1999), una proporción sexual de 1:1 maximiza el éxito reproductivo de los individuos. Sin embargo, se pueden encontrar especies donde haya una mayor proporción de machos, tal es el caso de la estrella *Marthasterias glacialis*, que presenta una proporción de 1.6M:1H. Se ha documentado que este comportamiento en la proporción sexual es observado cuando las especies forman agregaciones al momento del desove (Minchin 1987).

En la población de *P. unifascialis* en el área de estudio, se observó la presencia de dos organismos hermafroditas. Hyman (1955) y Lawrence (1987) mencionan que el hermafroditismo no es raro en las especies de equinodermos. En estos casos se presentan pequeños islotes de esperma en los ovarios. Lo anterior también ha sido reportado en las estrellas vivíparas *Patiriella vivipara* y *P. parvivipara* (Byrne 1996) y en el ofiuroideo *Odontaster validus* (Stanwell-Smith y Clarke 1998). Aunque se cree que el hermafroditismo puede ser una precondition de la fertilización interna de una

población gonocórica, para un mayor éxito reproductivo (Hyman 1955, Lawrence 1987, Byrne 1996). Además, Herrero-Pérezrul *et al.* (1998) mencionan que también puede ser un mecanismo compensatorio cuando los organismos reducen su tamaño, como un mecanismo de prevención cuando el alimento o el hábitat es limitado. En este caso la presencia de únicamente dos organismos, no nos puede indicar cual de los casos anteriores podría estar relacionado con esta especie, por lo que es posible que se trate de un fenómeno aislado.

Relación de la temperatura con el ciclo reproductivo

En los trópicos la estacionalidad ambiental influye en los patrones reproductivos de los invertebrados marinos (Lessios 1981). La temperatura, es considerada el factor que actúa de forma más directa sobre los organismos, actuando sobre su distribución, supervivencia y reproducción (Xu y Barker 1990, McClintock *et al.* 1995).

Durante este estudio el ciclo reproductivo de *P. unifascialis* no mostró una estacionalidad relacionada con la temperatura del agua. Sin embargo, durante la fase de desarrollo (Fig. 17b), se puede observar una ligera relación con la misma. Existe la posibilidad de que no solo sea la temperatura la que rija sobre el proceso reproductivo de esta especie, sino que actúe conjuntamente con algún otro factor ambiental, como el fotoperiodo, la disponibilidad de alimento, los ciclos lunares, entre otros. Lo anterior implica un mayor esfuerzo de investigación para determinar que factores intervienen en el ciclo reproductivo de *P. unifascialis*.

PARASITISMO

Se encontró que el porcentaje de incidencia del parásito *Thyca callista* en *P. unifascialis* fue del 3.14 %, mientras que Morgan y Cowles (1996) y Salazar y Reyes-Bonilla (1998), mencionan que el parasitismo de este gasterópodo en el sur del golfo de California fue del 5 %. Por su parte, Metz (1996) menciona que en el golfo de California, la tasa de parasitismo de *T. callista* en *P. unifascialis* varía por área en el golfo. Por su parte, Salazar y Reyes-Bonilla (1998), mencionan que la intensidad de éste parásito podría estar influenciada por la latitud, pero no existe evidencia suficiente. Tomando en cuenta que la incidencia de este parásito fue menor en este estudio comparado con el sur del golfo, cabe la posibilidad que conforme esta estrella se distribuya más al norte la incidencia disminuirá gradualmente, sin embargo, es necesario obtener información del parasitismo al que se encuentra sometida esta estrella en las zonas más norteñas.

En este estudio se observó que *T. callista* se encontraba en la parte oral, generalmente en la parte media de los brazos, mientras que Salazar y Reyes-Bonilla (1998), mencionan que éste parásito se fija en el primer tercio de los brazos de las estrellas por la parte oral. Del mismo modo, Metz (1996) menciona que este parásito se ubica en el dorso del hospedero y va migrando hacia la parte oral, donde se alimenta de los fluidos alimenticios presentes en el interior de los brazos. De acuerdo a lo anterior, es posible que este parásito se adhiera de forma aleatoria a lo largo del brazo.

La incidencia de este parásito se observó principalmente en individuos de uno a dos años de edad (Fig. 21) y en mayor porcentaje en las hembras (Tabla III). Esto último puede deberse a que las hembras requieren una mayor cantidad de energía para

producir gametos en contraste con los machos, de tal forma que el parásito se adhiriera en los individuos que le provean de un mayor nivel nutricional. Tomando en cuenta que los parásitos necesitan de material energético para su desarrollo, es probable que estos sean vistos en *P. unifascialis* con mayor frecuencia en aquellos organismos que ya alcanzaron la edad adulta (Fig. 22).

Sin embargo, de acuerdo a Torchin *et al.* (2002), la incidencia del parasitismo, es una característica de un ambiente perturbado, con lo cual el parásito tiene el potencial de afectar el crecimiento, la reproducción y la sobrevivencia del hospedero. *T. callista* no afectó el ciclo reproductivo de *P. unifascialis* (Tabla III), ya que los organismos infectados por el parásito presentaron todas las fases gametogénicas, a diferencia de lo mencionado por García-Domínguez *et al.* (1991) y Campbell (1985), quienes reportaron que el parasitismo de trematodos digéneos en bivalvos causa esterilidad en los individuos afectados o “castración parasitaria”. Este fenómeno ha sido observado en *Chione californiensis* al ser parasitado por el trematodo *Bucephalus* (García-Domínguez *et al.* 1991) y en *Abra tenuis* al ser parasitado por *Gymnophallus rebecqui* (Campbell 1985). De tal forma que la incidencia de este parásito en *P. unifascialis* no presenta un factor limitante en el éxito reproductivo de esta especie.

VIII. Conclusiones

- La abundancia de la población de *P. unifascialis* en Punta Gaviota fue de 0.30 ± 0.4 ind/m². En la temporada cálida (junio, julio y septiembre de 2003) se presentó la mayor abundancia de organismos en la región.
- La talla promedio fue de 9.12 ± 0.04 cm (radio de brazo) y de 37.55 ± 0.32 g (peso), siendo mayor a la reportada para esta especie en el área del golfo de California.
- La relación peso longitud fue significativa ($r^2 = 0.8046$). La ecuación fue $W = (0.3959) * L^{2.0511}$.
- Los parámetros poblacionales fueron $D_{\infty} = 16.46$, $k = 0.52$, $t_0 = 0.32$, por lo que la ecuación de crecimiento fue $D_t = (16.46)(1 - \exp^{-0.52 * (\text{edad} - 0.32)})$.
- La estrella de mar *P. unifascialis* presentó un crecimiento rápido y el organismo de mayor edad observado fue de 3.7 años
- La tasa mortalidad natural fue de 0.32. En el primer año sobrevivió cerca del 72.6 % de la población y el 52.3 % de la misma llega a la edad de primera madurez (radio de brazo 9.43 cm y peso 45.34 g).
- El ciclo reproductivo es continuo, caracterizado por 5 estadios: indiferenciado, desarrollo, madurez, desove y postdesove. Hubo una baja incidencia de organismos maduros en el año y el desove se presentó durante la mayor parte del año.

- Se observaron dos organismos hermafroditas, lo que corresponde al 0.17 % de la población.

- El diámetro mínimo de los ovocitos fue 60 μm que corresponden a la fase de desarrollo y el máximo fue de 180 μm , correspondiente a la fase de madurez.

- La proporción sexual de esta estrella no difirió significativamente de 1:1.

- Se encontró que solo la fase de desarrollo esta relacionada con la temperatura, mientras que la fase de desove se realizó a diferentes temperaturas, con una mayor incidencia en el verano.

- El parasitismo provocado por el gasterópodo *T. callista* fue de 3.14 %, siendo las hembras y los organismos de 2 años los que mayor incidencia tuvieron.

- El parasitismo no afecto el ciclo reproductivo de *P. unifascialis*.

IX. Recomendaciones

- Establecer una época de veda reproductiva de mayo a septiembre.
- Permitir solamente la captura de organismos con brazos mayores de 4 cm.
- Evaluar la abundancia estacionalmente.
- Se recomienda que esta estrella no sea capturada hasta que se realicen los estudios biológico-pesqueros necesarios para la administración racional de la pesquería.

X. Sugerencias para trabajo futuro

- Estimar la concentración de materia orgánica en el sustrato.
- Determinar los hábitos alimenticios de los organismos.
- Determinar la influencia del fotoperiodo y de los ciclos lunares sobre la reproducción.
- Estimar la fecundidad de esta estrella.
- Realizar censos en locales comerciales donde se realice la venta de estos organismos al público, con la finalidad de estimar la cantidad de estrellas que son extraídas, y la importancia que tienen en la economía de la zona.
- Elaborar un plan de manejo para controlar la extracción de estos organismos.



Es importante extender el estudio de esta estrella a otras zonas donde se realice la extracción de estos organismos para su venta, con la finalidad de comparar la influencia que tiene el mercado sobre la misma.

XI. Literatura citada

- Alagaraja, K. 1984. Simple methods for estimation of parameters for assessing exploited fish stocks. *Indian J. Fish.* 31: 177-208.
- Álvarez-Arellano, A.D., H. Rojas-Soriano & J.J. Prieto Mendoza. 1997. Oceanografía física de la bahía de La Paz, B: C. S. En: La bahía de La Paz: Investigación y Conservación. Ramírez, J. U y Ramírez-Rodríguez, M. (ed.). Universidad Autónoma de Baja California Sur, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, *SCRIPPS Instituto of Oceanography* 345 p.
- Anónimo. 1992. Manual de métodos de muestreo y evaluación de poblaciones de moluscos y otros recursos bentónicas. *Secretaría de Pesca*. México. 73 p.
- Aronson, R.B. 1993. Hurricane effects on backreef echinoderm of the Caribbean. *Coral Reefs* 12: 139-142.
- Beverton, R.J. H & S.J. Holt. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. U. K. Ministry of Agriculture and Fisheries Investigations (Ser 2) 19.
- Brusca, R. 1980. Common Intertidal invertebrates of the Gulf of California. Univ. Arizona Press, 2nd ed., Phoenix. 513 p.
- Brusca, R.C. & G.J. Brusca. 1990. Invertebrates. Sinauer Associates Inc. Sunderland Massachusetts. 992 p.
- Byrne, M. 1996. Viviparity and intragonadal cannibalism in the diminutive sea stars *Patiriella vivipara* y *P. parvivipara* (Family Asterinidae). *Mar. Biol.* 125: 551-567.
- Byrne, M., N.L. Andrew, D.G. Worthington & P.A. Brett. 1998. Reproduction in the diadematoid seurchin *Centrostephanus rodgersii* in contrasting habitats along the coast of new south Wales, Australia. *Mar. Biol.* 132: 305-318.

- Campbell, D. 1985. The life cycle of *Gymnophallus rebecqui* (DIGENEA: GYMNOPHALLIDAE) and the response of the bivalve *Abra tenuis* to its metacercariae. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 65: 589-601.
- Caso, M.E. 1961. Estado actual de los conocimientos acerca de los Equinodermos de México. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 387 p.
- Caso, M.E. 1978. Los equinoideos del Pacífico Mexicano; Parte segunda. Ordenes Stiriodonta y Camarodonta. *An. Centro Cienc. Mar Limnol. Univ. Nal. Autón. Méx. Publ. Esp.*, 242 p.
- Chávez, E.A. 1995. La mortalidad natural y su relación con la tasa de crecimiento y la longevidad. *Boletín Informativo* 6 (2): 3 p.
- Chávez-Romo, H.E. 2004. Biología reproductiva de *Pocillopora damicornis* (Linnaeus, 1758) (Scleractinia) en Punta Gaviotas, bahía de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, Méx. 79 p.
- Chia, F.S & R. Koss. 1994. Asteroidea. p.p. 169-245. En: Harrison, F. W. y F. Chia (eds.). *Microscopic anatomy of invertebrates*. Vol. 14: Echinodermata. Wiley-Liss. 510 p.
- Cintra-Buenrostro, C.E. 1997. Sinopsis taxonómica y biogeografía ecológica de asteroideos (Echinodermata: Asteroidea) del Golfo de California. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz. México. 154 p.
- Cintra-Buenrostro, C.E. 2001. Los asteroideos (Echinodermata: Asteroidea) de aguas someras del Golfo de California, México. *Oceánides* 16: 49-90.
- Clark, W.G. 1999. Effects of an erroneous natural mortality rate on a simple age-structure stock assessment. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56: 1721-1731.
- Conand, C. 1982. Reproductive cycle and biometric relations in a population of *Actinopyga echinites* (Echinodermata: Holoturoidea) from lagoon of New Caledonia,

- western tropical Pacific. pp. 437-442. En : Balkema, A.A. (ed.). International Echinoderms Conference. Rotterdam.
- Conand, C. 2004. Monitoring a fissiparous population of *Holothuria atra* on a fringing reef on Reunion Island (Indian Ocean). *Bêche de Mer Information Bulletin* 20 : 22-25.
- Den Besten, P.J. 1998. Cytochrome P450 monooxygenase system in echinoderms. *Comp. Biochem. Physiol. Part C* 121: 139-146.
- Despalatović, M., I. Grubelić, A. Šimunović, B. Antolić & A. Žuljević. 2004. Reproductive biology of the holoturian *Holothuria tubulosa* (Echinodermata) in the Adriatic Sea. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 84: 409-414.
- Dotan, A. 1990. Population structure of the echinoid *Heterocentrotus mammillatus* (L.) along the littoral zone of south-eastern Sinai. *Coral Reefs* 9: 75-80.
- Eakin, C.M. 1988. Avoidance of damselfish lawns by the sea urchin *Diadema mexicanum* at Uva Island, Panama. *Proc. 6th Int. Coral Reef Sym. Australia* 22: 21-26.
- Ebert, T.A. 1982. Longevity, life history and relative body wall size in sea-urchin. *Ecol. Monogr.* 52:353-394.
- Ebert, T.A. & M.P. Russell. 1992. Growth and mortality estimates for red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* from San Nicolas Islands, California. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 81: 31-41.
- Espino-Barr, E., R. Cibrían & A. García. 1996. Estructura y densidad de la población del erizo tinta *Diadema mexicanum* en el litoral rocoso del estado de Colima. INP. SEMARNAP. *Cienc. Pesq.* 12:60-67.
- Ford, E. 1933. An account of the herring investigations conducted at Plymouth during the years from 1924-1933. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 19: 305-384.

- Foster, S.A. 1987. The relative impacts grazing by Caribbean coral reef fishes and *Diadema*: effects of habitat and surge. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 105: 1-20.
- Freeman, S.M., C.A. Richardson & R. Seed. 2001. Seasonal abundance, spatial distribution, spawning and growth of *Astropecten irregularis* (Echinodermata: Asteroidea). *Est. Cost. Shelf. Sc.* 53: 39-49.
- Freire, C.A., P.J.P. Santos, N.F. Fontoura, R.A.O. Magalhães & P.A. Grohmann. 1992. Growth and spatial distribution of *Cassidulus mitis* (Echinodermata: Echinoidea) on a sandy beach in Southeastern Brazil. *Mar. Biol.* 112, 625-630.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. *Universidad Autónoma de México*. 219 p.
- García-Cuellar, J.A. 2001. Ciclo reproductivo de la madreperla *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856), y su relación con los fenómenos "El Niño y La Niña" (1997-1999), en la Isla Espiritu Santo, Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz, México. 75 p.
- García-Domínguez, F., B. González-Acosta & S. Rodríguez-Astudillo. 1991. Fauna simbiote de la almeja roñosa, *Chione californiensis* en la Ensenada de La Paz, Baja California Sur, México. *Inv. Mar. CICIMAR* 6(2): 283-286.
- Gayanillo, F.C., P. Sparre & D. Pauly. 1994. The FAO-ICLARM stock assessment tools (FISAT). FAO computerized information series (Fisheries) No. 8. Vol. 1, User's guide; Vol. 2, Reference manual. FAO, Roma. 186 p. (Vol. 1) y 249 p. (Vol. 2).
- González-Acosta, A.F. 1998. Ecología de la comunidad de peces asociada al manglar del estero El Conchalito, ensenada de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis de

Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz, México. 126 p.

González-Peláez, S.S. 2001. Biología poblacional del erizo café *Tripneustes depressus* A. Agassiz, 1863 (Echinodermata: Echinoidea), en el sur del Golfo de California, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz. México. 80 p.

Graaf, M. G.J. Geertjes & J.J. Videler. 1999. Observation on spawning of scleractinian corals and other invertebrates on the reefs of Bonaire (Netherlands Antilles, Caribbean). *Bull. Mar. Sci.* 64: 189-194.

Grigg, R.W & S.J. Dollar. 1990. Natural and anthropogenic disturbance on coral reefs. pp 439-452. En: Dubinsky Z. (ed.). Coral Reefs. ELSEVIER. Amsterdam.

Gulland, J.A. & A.A. Rosemberg. 1992. Examen de los métodos que se basan en la talla para evaluar las poblaciones de peces. FAO Documento Técnico de Pesca No. 323. FAO, Roma. 112 p.

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 (6): 1077-1084.

Harrison, F.W. & F.S. Chia. 1994. Microscopic anatomy of invertebrates. Vol. 14: Echinodermata. Wiley-Liss. 510 p.

Herrero-Pérezrul, M.D., H. Reyes-Bonilla & F.García Domínguez. 1998. Casual hermaphroditism in gonocoric *Isostichopus fuscus* (Ludwing, 1875) (Echinodermata: Holoturoidea) of the Southern Gulf of California, México. *Bull. Mar. Sci.* 63 (3): 611-615.

- Herrero-Pérezrul, M.D., H. Reyes-Bonilla, F.A. García-Domínguez & C.E. Cintra-Buenrostro. 1999. Reproduction and growth of *Isostichopus fuscus* (Echinodermata: Holoturoidea) in the southern Gulf of California, Mexico. *Mar. Biol.* 135:521-532.
- Hoareau, T. & C. Conand. 2001. Sexual reproduction of *Stichopus chloronotus*, a fissiparous sea cucumber on Reunion Island, Indian Ocean. *Bêche de Mer Inf. Bull.* 15: 4-12.
- Holguin-Quiñones, O., H. Wright-López & F. Solis-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.
- Howell, K.L., D.S.M. Billet & P.A. Tyler. 2002. Depth-related distribution and abundance of seastars (Echinometra: Asteroidea) in the Porcupine Seabight and Porcupine Abyssal plain, N. E. Atlantic. *Deep-Sea Res.* 49: 1901-1920.
- Hyman, L.H. 1955. The Invertebrates: Echinodermata. The coelomate bilateria. Vol IV. McGraw-Hill. 763 p.
- Jangoux, M. 1982. Food and feeding mechanisms: Asteroidea. pp. 117-159. En: Jangoux, M & J.M. Lawrence (eds.). Echinoderm nutrition. A.A. Balkema, Netherlands.
- Jensen, A.L. 1996. Beverton and Holt life history invariants result from optimal trade-off of reproduction and survival. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53: 820-822.
- Jordana E., M. Guillou & L.J.L. Lumingas. 1997. Age and growth of the sea urchin *Sphaerechinus granularis* in southern Brittany. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 77: 1199-1212.
- Kasyanov, V.L. 2001. Reproductive strategy of marine bivalves and echinoderms. Russian Academy of Sciences. Russia. 229 p.
- Keen, M.A. 1972. Sea shells of tropical west America. Stanford University. Stanford, California. 1064 p.

- Lawrence, J.M., T.S. Klinger, J.B. McClintock, S.A. Watts, C.P. Chen, A.G. Marsh & L. Smith. 1986. Allocation of nutrient resources to body components by regenerating *Luidia clathrata* (Say) (Echinodermata: Asteroidea). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 102: 47-53.
- Lawrence, J.M. 1987. A functional biology of echinoderms. Croom Helm. London & Sydney. 340 p.
- Lawrence, J.M. 1992. Arm loss and regeneration in Asteroidea (Echinodermata). Balkema, Rotterdam. 39-52 pp.
- Lawrence J.M., M. Byrne, L. Harris, B. Keegan, S. Freeman & B.C. Cowell. 1999. Sublethal arm loss in *Asterias amurensis*, *A. rubens*, *A. vulgaris* & *A. forbes* (Echinodermata: Asteroidea). *Vie Milieu* 49: 69-73.
- Lessios, H.A. 1981. Reproductive periodicity of the echinoids *Diadema* and *Echinometra* on the two coast of Panama. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 50: 47-61.
- Lessios, H.A., J.D. Cubit, D.R. Robertson, M.R. Parker, S.D. Garrity & S.C. Levings. 1984. Mass mortality of *Diadema antillarum* on the Caribbean coast Panama. *Coral Reefs* 3: 173-182.
- Levitan, D.R. 1989. Density-dependent size regulation in *Diadema antillarum*: effects on fecundity and survivorship. *Ecology* 70(5): 1414-1424.
- Lewis, S.M. & P.C. Wainwright. 1985. Herbivore abundance and grazing intensity on a Caribbean coral reef. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 87:215-228.
- Luna, L.G. 1968. Manual of histologic staining methods of the Armed Forces Institute of Pathology. 3rd. McGraw-Hill. New York. 258 pp.
- Maluf, L.I. 1988. Composition and distribution of central eastern pacific echinoderms. Technical reports 2. Nat Hist. Mus. L. A. County. 242 p.

- Margolis, L., G.W. Esch, J.C. Holmes, A.M. Ilons & G.A. Schad. 1982. The use of ecological terms in parasitology. *J. Parasitol.* 18: 131-141.
- Martín, 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. Oceanogr.* 17 (1, 2): 203-208.
- McAlary, F.A. 1987. Population structure and reproduction of the fissiparous seastar, *Linckia columbiae* Gray, on Santa Catalina Island, California. Third California Island Symposium. 233- 248 p.
- McClanahan, T.R. & N.A. Muthiga. 1988. Changes in Kenyan coral reef community structure and function due to exploitation. *Hydrobiol.* 166: 269-276.
- McClanahan, T.R. & N.A. Muthiga. 1989. Patterns of depredation on sea urchin, *Echinometra mathaei* (de Blainville). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 126: 77-94.
- McClintock, J.B., S.A. Watts, K.R. Marion & T.S. Hopkins. 1995. Gonadal cycle gametogenesis and energy allocation in two sympatric mid shelf sea star with contrasting modes of reproduction. *Bull. Mar. Sci.* 57(2): 442-452.
- Menge, B.A. 1982. Effect of feeding on the environment. Asteroidea. pp. 521-551 En: Jangoux, M & J.M. Lawrence (eds.). Echinoderm nutrition. A.A. Balkema. Netherlands.
- Metz, G.E. 1996. Some observations on *Thyca callista* Berry, 1959. *Festivus* 28: 15-17.
- Miller S.R & J.M. Lawrence. 1999. Gonad and pyloric caeca reproduction in the nine-armed starfish *Luidia senegalensis* off the southwest Florida gulf coast during the annual reproductive cycle. *Bull. Mar. Sci.* 65: 175-184.
- Minchin, D. 1987. Sea-water temperature and spawning behavior in the sea star *Marthasterias glacialis*. *Mar. Biol.* 95: 139-143

- Monteforte, M. & M. Cariño. 1992. Exploration and evaluation of natural stocks of pearl oyster *Pinctada mazatlanica* and *Pteria sterna* (Bivalvia, Pteriidae): La Paz Bay, South Baja California, México. *Ambio* 21(4): 314-320.
- 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, Mexico. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 208: 13-27.
- Morrison, D. 1988. Comparing fish and urchin grazing in shallow and deeper coral reef algal communities. *Ecology* 69(5): 1367-1382.
- Munk, J.E. 1992. Reproduction and growth of green urchin *Strongylocentrotus droebrachiensis* (Müller) near Kodiak, Alaska. *J. Shellfish Res.* 11(2): 245-254.
- Murillo, J. 1987. Algunas características paleoceanográficas y cuerpos de agua inferidos a partir de registros micro paleontológicos (Radiolaria) en la bahía de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, México. 68 pp.
- Pauly, D. 1984. Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators. *ICLARM Conf. Proc.* 13: 7-34.
- Pomory, C.M & M.T. Lares. 2000. Rate of regeneration of two arms in the field and its effect on body components in *Luidia clathrata* (Echinodermata: Asteroidea). *J. Exp Mar. Biol. Ecol.* 254: 211-220.
- Purwati, P. 2004. Fissiparity in *Holothuria leucospilota* from tropical Darwin waters, northern Australia. *Bêche de Mer. Inf. Bull.* 20: 26-33.

- Ramsay, K., M. Bergmann, L.O. Veale, C.A. Richardson, M.J. Kasier, S.J. Vize & S.W. Feist. 2001. Damage, autotomy and arm regeneration in starfish caught by towed demersal fishing gears. *Mar. Biol.* 138: 527-536.
- Reyes-Bonilla, H. & L.E. Calderón-Aguilera. 1999. Population density, distribution and consumption rates of three corallivores at Cabo Pulmo reef, Gulf of California, Mexico. *Mar. Ecol.* 20 (3-4): 347-357.
- Reyes-Bonilla, H & M.D. Herrero-Pérezrul. 2003. Population parameters of an exploited population of *Isostichopus fuscus* (Holothuroidea) in the southern Gulf of California, Mexico. *Fish. Res.* 59: 423-430.
- Richmond, H.R. 1997. Reproduction and recruitment in coral: critical links in the persistence of reef. En C.E. Birkeland (ed.), Life and death of coral reefs. Chapman and Hall, Publishers. U.S.A. 175-197.
- Rogers, S.C. 1990. Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 62: 185-202.
- Rumrill, S.S. 1989. Population size-structure, juvenile growth, and breeding periodicity of the sea star *Asterina miniata* in Barkley Sound, British Columbia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 58: 37-47.
- Salazar, A. & H. Reyes-Bonilla. 1998. Parasitismo de *Thyca callista* (Gastropoda: Capulidae) sobre *Phataria unifascialis* (Asteroidea: Ophidiasteridae) en el golfo de California, México. *Rev. Biol. Trop.* 46(3): 833-836.
- Salgado-Ugarte, I.H., J. Martínez-Ramírez, J. Gómez-Márquez & B. Peña-Mendoza. 2000. Some programs for growth estimation in fisheries biology. *Stata Technical Bulletin* 53: 35-47.

- Salinas, Z.C., A.C. Leyva, D.B. Luch & E.R. Días. 1992. Distribución geográfica y variabilidad climática de los regímenes pluviométricos en Baja California Sur, México. *Atmósfera* 3: 217-237.
- Sammarco, P.W. 1982. Echinoid grazing as a structuring force in coral communities: whole reef manipulation. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 61: 31- 55.
- Scheibling, R.E. 1980. Abundance, spatial distribution, and size structure of populations of *Oreaster reticulatus* (Echinodermata: Asteroidea) on sand bottoms. *Mar. Biol.* 57 (2):107-119.
- Secretaría de Marina. 1979. Estudio geográfico de la región de La Paz, B. C. S. *Secretaría de Marina*. Dirección general de Oceanografía. 228 p.
- Shick, J.M., W.F. Taylor & A.N. Lamb. 1981. Reproduction and genetic variation in the deposit-feeding sea-star *Ctenodiscus crispatus*. *Mar. Biol.* 63: 51-66.
- Solis-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. *Ciencias Marinas* 23(2): 249-263.
- 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. 420 p.
- Stanwell-Smith, D. & A. Clarke. 1998. Seasonality of reproduction in the cushion star *Odontaster validus* at Signy Island, Antarctica. *Mar. Biol.* 131: 479-487.
- Stata Corporation. 2001. Stata Statistical Software: Release 7.0. Collage Station, TX. Stata Corporation.
- Sumida, P.Y.G., P.A. Tyler & D.S.M. Billett. 2001. Early juvenile development of deep-sea asteroids of the NE Atlantic Ocean, with notes on juvenile bathymetric distribution. *Acta Zoologica* 82: 11-40.

- Torchin, M.E., K.D. Lafferty & A.M. Kuris. 2002. Parasites and marine invasions. *Parasitology* 124: 137-151.
- Tuwo, A & C. Conand. 1992. Reproductive biology of the holoturian *Holothuria forskali* (Echinodermata). *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 72: 745- 758.
- Walford, L.A. 1946. A new graphic method of describing the growth of animals. *Biol. Bull.* 90 (2): 141-147.
- Xu, R.A & M.F. Barker. 1990. Photoperiodic regulation of oogenesis in the starfish *Sclerasterias mollis* (Hutton 1872) (Echinodermata: Asteroidea). *J. Mar. Biol. Ecol.* 141: 159-168.
- Yamaguchi, M. & J.S. Lucas. 1984. Natural parthenogenesis, larval and juvenile development, and geographical distribution of the coral reef asteroid *Ophidiaster granifer*. *Mar. Biol.* 8: 33-42.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall. Englewood Cliffs. N. J. 670 p.

XII. Anexos

Anexo I

Características generales de los equinodermos

Tres caracteres fundamentales definen al phylum Echinodermata: a) simetría radial pentámera cuando son adultos, pero bilateral cuando son larvas; b) esqueleto dérmico de placas o piezas calcáreas y, c) sistema vascular acuífero, que es un complicado grupo de tubos interconectados que se originan a partir del hidrocele durante el desarrollo (Hyman 1955, Caso 1961, Harrison y Chia 1994, Lawrence 1987). El sistema vascular acuífero se relaciona con las funciones de locomoción, alimentación, excreción, transporte de nutrientes y respiración.

Los equinodermos presentan una amplia variedad en su forma y tipo de alimentación. Hay suspensívoros, sedimentívoros, herbívoros, carnívoros (macro y micrófagos) y carroñeros, mientras que en algunos casos se presenta el canibalismo (Lawrence 1987). Estas diferencias en la alimentación implican diferencias en la morfología funcional y el comportamiento (Lawrence 1987, 1992). La gran mayoría de los equinodermos poseen reproducción sexual, con una proporción de sexos de uno a uno, con solo algunos casos de hermafroditismo (Ramsay *et al.* 2001). Además, ciertos grupos han desarrollado la reproducción asexual por procesos de fisión y autotomía, lo cual les da la capacidad de dar origen a otro organismo (Hoareau y Conand 2001, Conand 2004, Purwati 2004).

Anexo II

Características generales de la Clase Asteroidea

Dentro de este phylum se encuentra la Clase Asteroidea o estrellas de mar, que se caracterizan por ser un grupo de vida libre que se desplaza sobre su superficie oral. Tienen el cuerpo flexible, un disco en forma pentagonal o radiado con cinco o más brazos y una abertura ambulacral limitada por canales en la superficie oral y provista de dos a cuatro hileras de podios (Caso 1961, Hyman 1955). En su interior se encuentran las gónadas y un par de glándulas digestivas (Lawrence 1987, Chia y Koss 1994).

Es común observar en las estrellas la pérdida de uno o más brazos, que posteriormente se regeneran con facilidad (Hyman 1955). Lawrence *et al.* (1999), sugieren que el factor principal en la pérdida de brazos es la depredación, pero también pudiera ser un mecanismo de autotomía para eliminar los brazos enfermos o infestados con parásitos. La regeneración de los brazos requiere una gran cantidad de recursos energéticos, lo que implica una reducción en el contenido de las reservas de energía en los brazos remanentes (Lawrence 1987, 1992, Pomory y Lares 2000, Ramsay *et al.* 2001). Es decir, que mientras más brazos se pierdan, la regeneración será más lenta.

Anexo III

Posición sistemática

Phylum Echinodermata de Brugiére, 1791

Subphylum Eleutherozoa Bell, 1891

Clase Asteroidea de Blainville, 1830

Orden Valvatida Perrier, 1884

Familia Ophidiasteridae Verrill, 1870

Genero *Phataria* Gray, 1840

Phataria unifascialis (Gray, 1840)



Lámina 12. Especímenes de *Phataria unifascialis* con diversas tonalidades.

Anexo IV

Tablas

Tabla IV. Longitud máxima vs edad para *P. unifascialis*.

Edad (años)	Longitud (cm)
1	4.9
2	9.6
3	12.4
4	14
5	15

Tabla V. Radio del brazo reportado para algunas especies de asteroideos.

Especie	Radio del brazo (cm)	Autor
<i>Luidia clathrata</i>	7	Lawrence et al. 1986.
<i>Marthasterias glacialis</i>	14 - 18	Minchin 1987.
<i>Oreaster reticulatus</i>	7.79 -13.31	Martín et al. 2001.
<i>Odontaster validus</i>	4.07 - 4.76	Stanwell-Smith y Clarke 1998.
<i>Patiriella parvivipara</i>	0.5	Byrne 1996.
<i>Patiriella vivipara</i>	0.15	Byrne 1996.
<i>Phataria unifascialis</i>	5.7-11	Morgan y Cowles 1996.
	9.3	Este estudio.
<i>Zoroaster fulgens</i>	6.3	Howell et al. 2002.

Tabla VI. Edad de diferentes equinodermos.

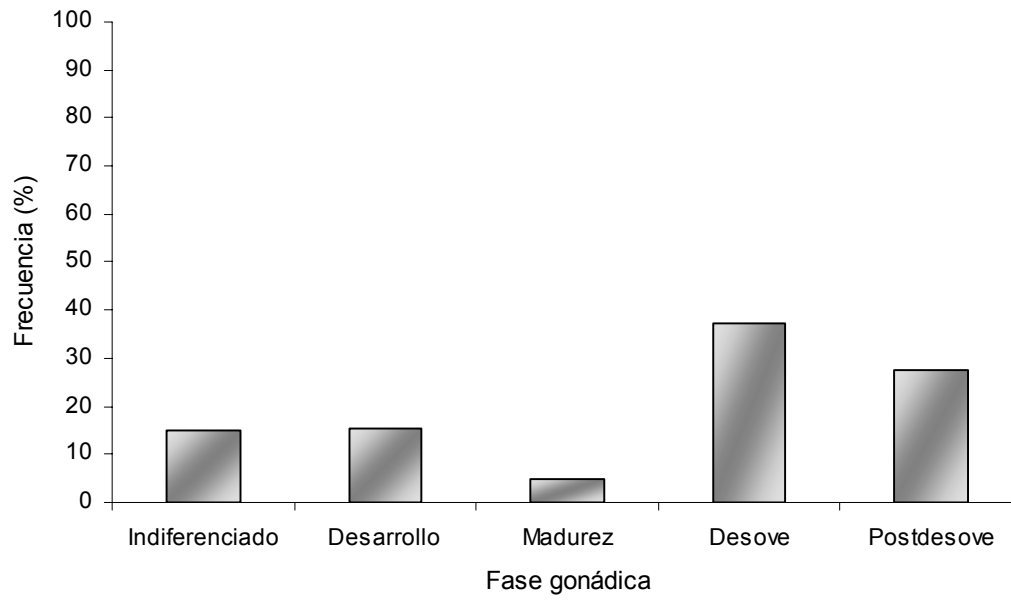
Especie	Edad (años)	Autor
<i>Anthenoides piercei</i>	10	McClintock et al. 1995
<i>Astropecten irregularis</i>	10	Freeman et al. 2001
<i>Tosia parva</i>	10	McClintock et al. 1995
<i>Isostichospus fuscus</i>	35	Herrero-Pérezrul et al. 1999
<i>Heterocentrotus mammillatus</i>	40	Dotan 1990
<i>Strongylocentrotus franciscanus</i>	>20	Ebert y Russell 1992
<i>Sphaerechinus granularis</i>	10	Jordana et al 1997
<i>Tripneustes depressus</i>	>10	González-Peláez 2001

Tabla VII. Desove de los equinodermos asociados a arrecifes durante la luna llena (Graff et al. 1999).

Especie	Numero de individuos
<i>Isostichospus badionotus</i>	1,
<i>Tripneustes ventricosus</i>	2,
<i>Ophioderma rubicundum</i>	>65
<i>Ophionereis reticulata</i>	algunos
<i>Ophioptrix suensonii</i>	3
<i>Ophiuroidea sp</i>	6

Anexo V

Figuras

Figura 23. Frecuencia de aparición de las fases gonádicas para *Phataria unifascialis*.