

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



REPRODUCCIÓN Y CRECIMIENTO DE
***Spondylus calcifer* (CARPENTER, 1857) EN LA**
ZONA CENTRO OCCIDENTAL DEL GOLFO DE
CALIFORNIA (AGUA VERDE, B.C.S.)

TESIS

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

PRESENTA

BIOL. GLADYS GUADALUPE COTA HERNÁNDEZ

LA PAZ, B.C.S., NOVIEMBRE DE 2011



SIP-14 BIS

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO****ACTA DE REVISIÓN DE TESIS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 10 del mes de Octubre del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

"REPRODUCCIÓN Y CRECIMIENTO DE *Spondylus calcifer* (CARPENTER, 1857)

EN LA ZONA CENTRO OCCIDENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA (AGUA VERDE, B.C.S.)"

Presentada por el alumno:

COTA

Apellido paterno

HERNÁNDEZ

materno

GLADYS GUADALUPE

nombre(s)

Con registro:

B	0	9	1	3	6	3
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

MAESTRIA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

LA COMISION REVISORA

Directores de Tesis


MC. MARCIAL TRINIDAD VILLALEJO FUERTE
Director de Tesis

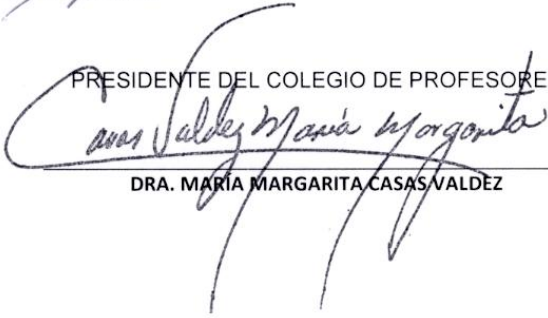

MC. FELIPE NERI MELO BARRERA
2º Director de Tesis


DR. ROBERTO FELIX URAGA


DR. MARCIAL ARELLANO MARTÍNEZ


DR. ARTURO TRIPP QUEZADA

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES


DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ



**IPN
CICIMAR
DIRECCION**



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 20 del mes octubre del año 2011
el (la) que suscribe BIÓL. GLADYS GUADALUPE COTA HERNÁNDEZ alumno(a) del
Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS
con número de registro B091363 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
MC. MARCIAL TRINIDAD VILLALEJO FUERTE y MC. FELIPE NERI MELO BARRERA
y cede los derechos del trabajo titulado:

"REPRODUCCIÓN Y CRECIMIENTO DE *Spondylus calcifer* (CARPENTER, 1857)

EN LA ZONA CENTRO OCCIDENTAL DEL GOLFO DE CALIFORNIA (AGUA VERDE, B.C.S.)"

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

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: gcota7@hotmail.com - fmelo@ipn.mx - mvillale@ipn.mx

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


BIÓL. GLADYS GUADALUPE COTA HERNÁNDEZ

nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional y al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas por permitirme realizar la presente investigación dentro de sus instalaciones.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Programa de Formación de Investigadores (PIFI) con el nombre de proyecto SIP: Abundancia y Estructura de la Población de *Spondylus calcifer* (CARPENTER, 1857) en Agua Verde, Golfo de California, por el apoyo concedido a través de sus becas para llevar a cabo mis estudios de maestría. Así como a la Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas del IPN (COFAA) por el apoyo otorgado para la asistencia a los congresos.

Al proyecto SEMARNAT-CONACyT 108230, Caracterización reproductiva y del hábitat de la almeja burra *Spondylus calcifer* Carpenter 1857 en tres regiones prioritarias del Golfo de California, por el financiamiento otorgado.

Agradecimiento especial para mis directores de tesis M.C. Marcial Villalejo Fuerte y M.C. Felipe Neri Melo Barrera, quienes confiaron en mí en todo momento y por compartirme de su gran conocimiento. Así como también a mi comité revisor, al Dr. Arturo Tripp Quezada, al Dr. Marcial Arellano Martínez y al Dr. Roberto Félix Uraga por sus acertadas sugerencias y aportaciones referentes a mi tesis. Al M. en C. Gustavo de la Cruz Agüero por ser miembro suplente del jurado.

Al Dr. José Iván Velázquez Abunader por contribuir con sugerencias a mi tesis y compartirme de su experiencia.

Humberto Ceseña Amador y Cesar Servando Casas Núñez, por ser cordiales y eficientes con los estudiantes.

A cada uno de los estudiantes e investigadores de este centro de investigación.

A mis compañeros del Laboratorio de Dinámica Poblacional; Dana Arismendi, Griselda Guadalupe Rubio Castro, Gabriela García Alberto, Eduardo Álvarez, Cristian Abel Robles Cota y al Dr. Casimiro Quiñónez Velázquez.

A la familia Matteotti Sánchez por brindarme hospitalidad en su casa desinteresadamente, son excelentes personas.

A mis compañeras de casa y amigos de maestría; Jazmín, Tere, Flor, Rocio, Priscila, Juanito, Paul, Heriberto, Alfredo, Diego. Gracias por compartir bellos momentos conmigo.

DEDICATORIA

A Dios

A mis Padres:

*María Leticia Hernández Muñoz y Ángel Herminio Cota Izaguirre por
estar siempre conmigo apoyándome*

A mis hermanos:

*Viridiana Cota Hernández, Marisela Cota Hernández y Ángel Eduardo
Cota Hernández*

A mi sobrina y cuñado:

Dania Alejandra Loaiza Cota y Alejandro Loaiza Bojórquez

A Jairo Manuel López Espinoza

*A todos mis amigos y amigas que siempre estuvieron conmigo en todo
momento*

*Les agradezco de todo corazón por todo el apoyo brindado y por formar
parte de mi vida los quiero mucho*

ÍNDICE

GLOSARIO	i
LISTA DE FIGURAS	iv
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	2
3. ÁREA DE ESTUDIO	7
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
5. JUSTIFICACIÓN	8
6. HIPÓTESIS	8
7. OBJETIVO GENERAL	9
7.1 Metas	9
8. MATERIAL Y MÉTODOS	10
8.1 Muestreo	10
8.2 Estructura de tallas	11
8.3 Ciclo reproductivo	11
8.4 Proporción de sexos	11
8.5 Estimación de la edad	12
8.6 Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento	13
8.7 Estructura de edades	14
8.8 Estimación del crecimiento	14
8.9 Talla y edad de reclutamiento a la reproducción	15

8.10 Relación de la reproducción y el crecimiento con la temperatura superficial del mar (TSM)	15
9. RESULTADOS.....	17
9.1 Muestreo.....	17
9.2 Estructura de tallas	17
9.3 Fases de desarrollo gonádico	20
9.4 Ciclo reproductivo	23
9.5 Proporción de sexos	24
9.6 Estructura de tallas por sexo.....	25
9.7 Preparación de las conchas para la estimación de la edad	26
9.8 Lectura de las marcas de crecimiento.....	28
9.9 Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento.....	29
9.10 Estructura por edades.....	30
9.11 Estructura de edades por sexo	30
9.12 Estructura de edades por mes	32
9.13 Crecimiento individual	34
9.14 Talla y edad de reclutamiento a la reproducción	35
9.15 Relación entre la reproducción y el crecimiento con la temperatura.....	37
10. DISCUSIÓN	39
10.1 Estructura de tallas	39
10.2 Fases de desarrollo gonádico	40
10.3 Ciclo reproductivo	40
10.4 Proporción de sexos	41
10.5 Estructura de tallas por sexo.....	42
10.6 Lectura de las marcas de crecimiento.....	43

10.7 Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento	43
10.8 Estructura de edad.....	44
10.9 Crecimiento individual	45
10.10 Talla y edad de reclutamiento a la reproducción	46
10.11 Relación de la reproducción y el crecimiento con la temperatura	47
11. CONCLUSIONES	49
12. REFERENCIAS.....	50
13. ANEXOS	55

GLOSARIO

Acino. Centro de desarrollo gametogénico.

Banda oscura. Región más densa de la concha que se visualiza de color oscuro (opaco) y se asocia a períodos de crecimiento rápido.

Banda blanca. Zona menos densa de la concha que aparece de color claro (translúcido) y se asocia a períodos de crecimiento lento.

Ciclo reproductivo. Periodo en el cual la mayoría de los individuos de una población presentan diferentes fases de desarrollo gonádico a través del año y que en general es cíclico.

Condróforo. Región que forma parte de la charnela y tiene forma de cuchara.

Desove. Es la acción mediante la cual las hembras expulsan hacia el exterior sus gametos maduros.

Edad. Tiempo de vida que alcanzan los organismos.

Edad o talla de maduración. Edad o talla en la cual los individuos de un sexo se consideran maduros para la reproducción.

Edad o talla de primera reproducción. Edad o talla en la cual el 50% de los organismos de una población, se encuentran reproductivamente activos.

Epibiontes. Organismos que viven por lo menos una fase de su ciclo vital encima de otro de mayor tamaño, al cual generalmente no le causa ningún problema.

Espermatoцитos. Células germinales masculinas en vías de maduración.

Espermatozoide. Gameto masculino que se forma dentro de los túbulos seminíferos. Su tamaño y forma varían según la especie.

Factores endógenos. Son todos los factores que pertenecen o corresponden al nivel de organización del individuo como composición genética, estructura y fisiología de sus células, tejidos, órganos, aparatos y sistemas.

Fagocito. Célula ameboide perteneciente al sistema de defensa del organismo especializada en englobar y dirigir cuerpos extraños.

Fases de desarrollo. Etapa de desarrollo del ovocito o espermatozoide.

Fecundación. Es la fusión de los gametos (células sexuales), uno masculino y otro femenino, seguida por la unión de los núcleos de los dos gametos.

Gametogénesis. Proceso que tiene como resultado la formación de gametos, se inicia con células germinales (ovogonias y espermatogonias).

Gónada. Órgano productor de gametos de los animales pluricelulares; ovario o testículo.

Gonocórico. Condición de una especie en la que los organismos presentan órganos de un solo sexo, macho o hembra, también se les puede definir como dioicos. Nacen y mueren con el mismo sexo.

Grupo de edad. Grupo de organismos que tienen la misma edad.

Hermafroditismo. Condición en la cual una proporción de individuos de la población presentan ambos sexos de manera simultánea o secuencial.

Hermafroditismo funcional. Cuando las gónadas del individuo producen gametos femeninos y masculinos.

Horadaciones. Perforaciones causadas por los organismos epibiontes.

Índice gonádico. Método cuantitativo utilizado para estimar la reproducción por medio de la gónada en relación al tiempo. Valor numérico que expresa el peso de la gónada con relación a la longitud o peso del organismo.

Madurez. Se refiere a la aptitud en general de un espécimen de una determinada edad o talla para reproducirse.

Marca de crecimiento. Término utilizado para asignar edad de algunas partes duras de los organismos. Una marca (anillo) es considerado como la formación de una banda blanca y una oscura.

Ovocito. Célula sexual femenina en fase de crecimiento y que experimenta la meiosis.

Reclutamiento. Es la incorporación de individuos jóvenes nacidos en cada generación (cohortes) al biotopo de los adultos.

Tejido conjuntivo. Tejido que se encuentra dentro y fuera de los acinos, rodeándolo; provee de soporte, transporte de nutrientes y sustrato para la diferenciación del tejido gonádico.

Túbulos seminíferos. Conductos en la gónada masculina donde se lleva a cabo la espermatogénesis; estos conductos conducen los espermatozoides al exterior.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de Agua Verde, B.C.S., en la región centro occidental del Golfo de California.	7
Figura 2. Variables morfométricas de la concha de <i>S. calcifer</i>	10
Figura 3. Concha de <i>S. calcifer</i> indicando los dientes de la charnela y la región del umbo.....	12
Figura 4. Corte transversal de la valva izquierda hecho sobre el diente de la charnela: Los puntos negros indican las marcas de crecimiento.	13
Figura 5. Frecuencia mensual de organismos capturados de <i>S. calcifer</i> en la zona centro occidental del Golfo de California.	17
Figura 6. Estructura de tallas de <i>S. calcifer</i> en la zona centro occidental del Golfo de California.....	18
Figura 7. Estructura de tallas por mes de <i>S. calcifer</i> en la zona centro occidental del Golfo de California. Se incluye la talla promedio.	19
Figura 8. Microfotografía de una gónada en fase indiferenciada de <i>S. calcifer</i>	22
Figura 9. Fases de desarrollo gonádico de hembras de <i>S. calcifer</i> ; a) desarrollo 40x, b) madurez 40x, c) desove 20x, d) postdesove 20x.	22
Figura 10. Fases de desarrollo gonádico de machos de <i>S. calcifer</i> ; a) desarrollo 20x, b) madurez 20x, c) eyaculación 40x, d) posteyaculación 20x.	23
Figura 11. Frecuencia relativa de las fases de desarrollo gonádico de <i>S. calcifer</i> en la zona centro occidental del Golfo de California.	24
Figura 12. Proporción de sexos de <i>S. calcifer</i> en la zona centro occidental del Golfo de California (* diferencias significativas).	25
Figura 13. Estructura de tallas por sexo de <i>S. calcifer</i> en la zona centro occidental del Golfo de California.	26

Figura 14. Calidad de los cortes de las conchas a) corte en el umbo descartado, b) corte en el umbo de una concha dañada y c) corte adecuado en el diente de la charnela.	27
Figura 15. Calidad de la región del corte de las conchas de <i>S. calcifer</i> para hacer las estimaciones de edad (n=43).	27
Figura 16. Diferencia entre lectores en la estimación del número de marcas de crecimiento en las conchas de <i>S. calcifer</i> de acuerdo a la región seleccionada (n=76).	28
Figura 17. Porcentajes de conchas utilizadas para estimar la edad de <i>S. calcifer</i> en la zona centro occidental del Golfo de California.	29
Figura 18. Porcentaje mensual de conchas con bordes blancos de <i>S. calcifer</i> en la zona centro occidental del Golfo de California.	30
Figura 19. Estructura de edades de <i>S. calcifer</i> en la zona centro occidental del Golfo de California.	31
Figura 20. Estructura de edades por sexo de <i>S. calcifer</i> en la zona centro occidental del Golfo de California.	31
Figura 21. Estructura de edades por mes de <i>S. calcifer</i> en la zona centro occidental del Golfo de California.	33
Figura 22. Talla a la edad y el modelo de crecimiento de von Bertalanffy (MCVB), de <i>S. calcifer</i> en la zona centro occidental del Golfo de California.	34
Figura 23. Talla a la edad y modelo de crecimiento de von Bertalanffy (MCVB) para machos y hembras de <i>S. calcifer</i> en la zona centro occidental del Golfo de California.	35
Figura 24. Talla de reclutamiento a la reproducción de hembras y machos de <i>S. calcifer</i> en la zona centro occidental del Golfo de California.	36
Figura 25. Edad de reclutamiento a la reproducción de hembras y machos de <i>S. calcifer</i> en la zona centro occidental del Golfo de California.	36

Figura 26. Relación entre la época de reproducción y el crecimiento de <i>S. calcifer</i> con la temperatura superficial del mar (TSM) en la zona centro occidental del Golfo de California.....	37
--	----

RESUMEN

Spondylus calcifer (almeja burra) es la especie más grande de la familia Spondylidae en el Pacífico Mexicano. Se distribuye desde el Golfo de California hasta las costas de Perú, habita aguas poco profundas (1-25 m), sobre fondos rocosos y en bajos arenosos adherida a fragmentos de roca o coral. En México, se encuentra bajo protección especial (NOM-ECOL-059-2001), sin embargo existe interés para su explotación por parte de pescadores ribereños. A pesar de su importancia, los estudios sobre su biología son escasos, por lo que el objetivo de este trabajo fue describir el ciclo reproductivo y estimar el crecimiento individual. Se recolectaron un total de 449 individuos (enero-diciembre de 2009) en la costa occidental del Golfo de California (Agua Verde, B.C.S.). Las tallas oscilaron de 4.3-16.9 cm altura de la concha (AC). El análisis de la proporción de sexos indicó diferencias significativas, siendo los machos más abundantes que las hembras (1H: 1.58M). La población inicia la gametogénesis en marzo y abril, con la madurez de mayo-agosto. El desove tuvo lugar de julio-octubre cuando las temperaturas se encontraban entre los 27 y 29°C. Cerca del 100% de los organismos se encontraron indiferenciados de noviembre-febrero. Las tallas por sexo fueron de 9.4-16.3 cm AC para hembras y de 6.1-16.9 cm AC en machos, no se encontraron diferencias significativas en la estructura de tallas entre sexos. Se encontraron 15 grupos de edad (0-14), los más representativos fueron los grupos cinco, seis y cuatro (26%, 18% y 15% respectivamente). Se encontró una correlación significativa entre el crecimiento y la reproducción ($R_s=0.70$). No se observaron diferencias notables en la curva de crecimiento por sexo (hembras: $AC_{\infty}=18.33$ cm, $k=0.15$ cm año⁻¹ y $t_0=-2.83$ años; machos $AC_{\infty}=18.13$ cm, $k=0.14$ cm año⁻¹ y $t_0=-2.88$ años). La talla y edad de reclutamiento a la reproducción fue de 12.82 cm AC y 5 años para hembras y 12.59 cm AC y 5 años para machos. *S. calcifer* es una especie gonocórica con un ciclo reproductivo sincrónico, con longevidad y tasa de crecimiento medio. El crecimiento individual y la reproducción están asociados a la temperatura superficial del mar.

ABSTRACT

Spondylus calcifer (oyster donkey) is the largest species of the family Spondylidae in the Mexican Pacific. It is distributed from the Gulf of California to the shores of Peru, inhabiting shallow waters (1-25 m), on rocky bottoms and sandy shoals attached to fragments of rock or coral. In Mexico, it is under special protection (NOM-ECOL-059-2001); however there is interest for its exploitation by coastal fishermen. Despite its importance, studies on its biology are limited, so that the objective of this study was to describe the reproductive cycle and estimate individual growth. We collected 449 individuals (January-December 2009) on the west coast of the Gulf of California (Agua Verde, B.C.S.). The total sizes ranged from 4.3-16.9 cm shell height (SH). The analysis of the sex ratio indicated significant differences, with males being more abundant than females (1H: 1.58M). Histological analysis of gonads showed that gametogenesis initiated in March and April, with maturity from May-August. Spawning took place from July-October when temperatures were between 27 and 29 °C. Nearly 100% of the organisms were undifferentiated from November-February. The sizes for sex were 9.4-16.3 cm SH for females and 6.1-16.9 cm SH in males, no significant differences in the size structure between sexes. We founded fifteen age groups (0-14), the most representative groups were five, six and four (26%, 18% and 15% respectively). We found a significant correlation between growth and reproduction ($R_s=0.70$). No significant differences in the growth curve by sex were observed (females: $SH_{\infty}=18.33$ cm, $k=0.15$ cm year⁻¹ and $t_0=-2.83$ years; males: $SH_{\infty}=18.13$ cm, $k=0.14$ cm year⁻¹ and $t_0=-2.88$ years). The size and age of recruitment to reproduction was 12.82 cm SH and 5 years for females and 12.59 cm SH and 5 years for males. *S. calcifer* is a gonochoric species with the reproductive cycle synchronous, with longevity and growth rate average. Individual growth and reproduction are related with sea surface temperature.

1. INTRODUCCIÓN

Spondylus calcifer se encuentra dentro de la familia Spondylidae, su nombre común es almeja burra (Keen, 1971). Actualmente existe controversia sobre su nomenclatura ya que algunos autores sugieren un cambio de nombre a *Spondylus limbatus* (Coan & Valentich-Scott, 2008), sin embargo hasta que no haya una definición por parte del Código Internacional de Nomenclatura Zoológica consideramos correcto mantener el nombre de *S. calcifer*.

S. calcifer es la especie más grande de la familia Spondylidae, puede presentar una altura de la concha (AC del dorso a la región ventral) de hasta 18 cm, alcanzando un peso total de sus partes blandas de 122 g, del cual el músculo aductor abarca el 55% (Villalejo-Fuerte & Muñetón-Gómez, 2002). Se distribuye principalmente desde el Golfo de California hasta las costas de Perú (Keen, 1971; Skoglund & Mulliner, 1996). Se caracteriza por habitar sobre fondos rocosos y coralinos, en aguas poco profundas de hasta 50 m de profundidad (Poutiers, 1995). Son organismos de conchas grandes, superficie externa tallada con costillas radiales y con numerosas espinas igualmente distribuidas, aurículas pequeñas y sin escotadura bisal (Villalejo-Fuerte & Muñetón-Gómez, 2002).

Para las comunidades costeras del Océano Pacífico oriental este bivalvo ha sido muy importante desde el punto de vista económico y cultural, apreciado pues fue utilizado por su valor ornamental por culturas mesoamericanas en rituales y ofrendas religiosas, aunque esto se ha perdido en los países de América Latina (Baqueiro *et al.*, 1982). Actualmente en México, esta especie se encuentra dentro de la NOM-ECOL-059-2001 bajo el estatus de protección especial por la reducción en la abundancia sus poblaciones. A pesar de esto, esta especie se comercializa ilícitamente, por el alto valor de su músculo aductor (callo) y por el valor estético que tiene su concha (Cudney-Bueno & Rowell, 2008). La captura de la almeja burra se realiza por buzos deportivos y comerciales, utilizando un cuchillo para cortar el callo, reteniendo una valva con las partes blandas, mientras que la otra valva queda adherida a la roca (Villalejo-Fuerte & Muñetón-Gómez, 2002).

La estimación de la edad es una parte central de todo trabajo de investigación dirigido hacia la explotación racional de los recursos pesqueros, con base en estas estimaciones se llega a definir la longevidad de las especies, identificar las clases anuales que forman el stock, estimar la edad de reclutamiento a la reproducción y en conjunto con la talla y el peso se logra estimar el crecimiento. Adicionalmente mediante modelos adecuados se estima la tasa de mortalidad y la biomasa de una población.

El conocimiento de los ciclos reproductivos de las poblaciones es fundamental para la conservación y aprovechamiento de los recursos marinos, con base en eso podemos conocer su proporción sexual, el ciclo reproductivo (época reproductiva), la talla o edad de reclutamiento a la reproducción, los cuales son elementos esenciales para la administración de los recursos a través del establecimiento de temporadas de veda y tallas mínimas legales de captura, con esta información se recomendaría evitar la extracción antes de su primera reproducción.

2. ANTECEDENTES

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE *Spondylus calcifer*, tomado de KEEN, 1971.

Phyllum: Mollusca

Clase: Pelecypoda

Subclase: Pteriomorphia

Orden: Pterioida

Superfamilia: Pectinacea

Familia: Spondylidae

Género: *Spondylus*

Especie: *Spondylus calcifer* (Carpenter, 1857)

REPRODUCCIÓN

Existen pocos trabajos sobre aspectos reproductivos de *S. calcifer*, entre ellos se encuentra el realizado por Villalejo-Fuerte *et al.* (2002) en la Bahía de Loreto, B.C.S., donde reportaron un rango de tallas de 7.05-16.52 cm AC. La proporción sexual obtenida fue de (1H: 1M), con la época reproductiva de agosto-octubre cuando la temperatura del agua es de 29°C. Consideran a *S. calcifer* como una especie gonocórica que alcanza su primera madurez a los 11.2 cm AC.

Villalejo-Fuerte & Muñetón-Gómez (2002) abordan la biología de *S. calcifer* en Isla Danzante, B.C.S., reportando un intervalo de tallas entre 4-17 cm AC, con una moda a los 11.5 cm AC. Reportan que la reproducción ocurre en verano (agosto y septiembre) y la consideran como una especie de alta fecundidad.

Cudney-Bueno & Rowell (2008) para *S. calcifer* en el norte del Golfo de California, reportan tallas de 5.14-16.07 cm AC. No encontraron diferencias en la proporción de sexos entre machos y hembras. Además estiman la temporada reproductiva a través de observaciones macroscópicas de la gónada (textura, talla y coloración) encontrando actividad sexual a mediados de marzo cuando el tejido gonadal comenzó a incrementarse; en abril, la mayoría de las gónadas estuvieron claramente diferenciadas. El desove tuvo lugar de julio a agosto seguido del posdesove en septiembre y noviembre que se caracterizó por la ausencia de actividad sexual. A pesar de que no estiman la edad, establecen con base de estudios de otros autores, que la edad de primera madurez la alcanza entre los 2.5 y 4 años de edad.

Otro estudio sobre el género *Spondylus* es el de Villalejo-Fuerte & García-Domínguez (1998) para *S. leucacanthus*, quienes registraron tallas de 3 a 12 cm AC, y encontraron diferencias en la proporción de sexos esperada (1H: 2.4M), siendo más abundantes los machos que las hembras. Definen cinco fases de desarrollo gonádico que van de la fase de indiferenciación, desarrollo, madurez, desove y posdesove. La gametogénesis inicio de marzo-abril seguido de la fase de madurez de junio-agosto; el desove ocurrió de agosto-octubre con temperaturas del agua

entre 23-26°C, mientras que en noviembre la totalidad de los ejemplares se encontraron en posdesove, finalizando el ciclo reproductivo con la etapa de inactividad de noviembre-marzo cuando las temperaturas del agua son las más bajas. Los organismos de este género exhibieron signos del desove a los 4.0 cm AC, pero en su mayoría los desoves ocurrieron a los 7.5 cm AC. Es necesario destacar en este estudio, la presencia de organismos hermafroditas, por lo que los autores sugieren que esta especie es hermafrodita protándrica.

En Isla Cedros y Punta Eugenia, México, Villalejo-Fuerte *et al.* (2005) encontraron que el 96% de los ejemplares de *S. princeps* tenían longitudes entre 8 y 14.5 cm AC, con una moda en los 11.5 cm AC. Estimaron la época reproductiva de acuerdo a la curva que describió el índice gonádico y encontraron un aumento continuo de este índice de mayo a julio relacionado con el proceso de maduración de la gónada, con un descenso que se presentó de agosto a septiembre correspondiente al período de desove. Los valores más bajos del índice se presentaron de marzo a mayo y de octubre a diciembre correspondiente al periodo de inactividad reproductiva. Consideran que el alimento ingerido por la especie contribuye como fuente energética para los procesos de reproducción.

EDAD Y CRECIMIENTO

Cerrato *et al.* (1991) realizaron un estudio sobre la reproducción, edad y crecimiento de la almeja *Mya arenaria* en Stony Brook Harbor, Nueva York. Estos autores utilizan el condróforo como una región alternativa a la tradicional para estimar la edad, concluyen que es una región adecuada para la obtención de la edad, además encuentran que la formación de las bandas de crecimiento es anual, con la banda translúcida formándose durante los meses de mayo y junio. Los especímenes más viejos presentaron 2.5 años.

Para la almeja *Panopea abbreviata* en Puerto Lobos, Argentina, se realizó un estudio sobre la edad y el crecimiento (Morsan & Ciocco, 2004), observaron que durante los primeros años de vida, las bandas translucidas y opacas son evidentes

en la gran mayoría de los organismos. En primavera-verano (septiembre y febrero en el hemisferio sur) presentaron bordes opacos y en el invierno (junio y julio) la totalidad de los ejemplares mostraron bordes translucidos. Se concluyó que esta especie muestra un crecimiento acelerado durante los primeros años de vida, que la formación de los anillos es anual y que tienen una longevidad de hasta 40 años.

Los trabajos que abordan la edad y crecimiento del género *Spondylus* son muy escasos y solo se cuenta con el desarrollado en el norte del Golfo de California por Cudney-Bueno & Rowell (2008) quienes estimaron la periodicidad de las marcas de crecimiento en las conchas de *S. calcifer* a través de isótopos δO^{18} y encontraron que estas son depositadas cada año. Las bandas de crecimiento blancas (translúcidas) se forman en temperaturas frías (invierno-primavera) y las oscuras (opacas) en temperaturas cálidas (verano-otoño). Se encontraron organismos de hasta 10 años pero se cree que estos pudieran tener más de 12 años, esto debido a los daños que presentan las valvas por organismos incrustantes dificultando la estimación de la edad. Cabe destacar que en este estudio solo se estimó la edad a ocho ejemplares, lo que limita el alcance de la investigación.

RELACIÓN ENTRE LA REPRODUCCIÓN Y EL CRECIMIENTO

Cardoso *et al.* (2007) analizan el crecimiento y la reproducción del bivalvo *Spisula subtruncata* en las costas de Grote Keeten en Holanda y encontraron que las marcas de crecimiento en la concha están relacionadas con la interrupción del crecimiento durante los meses fríos, asociado a la baja disponibilidad de alimento. Durante el periodo de masa gonadal máxima (mayo), todos los individuos por arriba de 1.2 cm AC tienen las gónadas desarrolladas, lo que sugiere que la madurez sexual se encuentra en función del tamaño y no de la edad. Concluyen que las bajas temperaturas, escases de alimento y el desove, pueden limitar el crecimiento.

Cerrato *et al.* (1991) estudiaron los patrones estacionales y de marea en el condróforo de la almeja *Mya arenaria* a largo de la isla Stony Brook Harbor, Nueva

York y encuentran una relación entre la formación de la banda translúcida con la temporada de desove de la especie durante el verano.

Saeedi *et al.* (2009) estudiaron la relación entre el crecimiento y la reproducción de la almeja navaja *Solen dactylus* en la costa norte del Golfo Pérsico, a través de la frecuencia de longitudes. Encontraron que después del primer año de edad, la tasa de crecimiento disminuye, debido a que inicia el ciclo reproductivo, ya que se requiere más energía para la producción de gametos, con lo que se inhibe el crecimiento. Mencionan que existen diversos factores ambientales como regímenes de corrientes, vientos, concentraciones altas de nutrientes (fitoplancton) que favorecen el crecimiento y la reproducción de esta especie.

ALIMENTACIÓN

Muñetón-Gómez *et al.* (2001) analizaron el contenido estomacal de *S. leucacanthus* y su relación con la reproducción y la abundancia de fitoplancton en Isla Danzante, B.C.S., reportaron que el índice gonádico mostró valores bajos en enero y febrero, correspondiendo a la etapa de inactividad reproductiva. De marzo a mayo se presentó un aumento gradual del índice, el cual corresponde a la gametogénesis. Los valores más altos se presentaron en junio y julio correspondiendo a la fase de madurez. Concluyen que el desarrollo de la gónada se sustenta en la energía obtenida del alimento disponible en el medio, a partir de los picos de abundancia de fitoplancton.

3. ÁREA DE ESTUDIO

Las muestras de almeja burra se obtuvieron en las costas de Agua Verde B.C.S., que se localizan en la zona centro occidental del Golfo de California (25°31'30" N y 111° 04'07" O) a 320 km al norte de la ciudad de La Paz y a 70 km al sur de Loreto (Fig. 1).

En esta región el clima es muy seco y cálido BW h' (INEGI, 1996). Navarro-Lozano (2009) reportó valores de temperatura media anual entre 22°C a 24°C y la media mensual más alta varió entre 27°C a 30°C durante los meses de agosto y septiembre, mientras que la más baja fue durante enero (17°C). La precipitación más alta se da en los meses de agosto-septiembre con medias de 45 a 49 mm, y las mínimas se registran de abril-junio, con valores inferiores a los 4 mm. Navarro-Lozano (2009) analizando los datos de la precipitación media anual de la estación meteorológica ubicada en Loreto para el periodo de 1970-2008, reportó que esta osciló entre 100 y 200 mm.

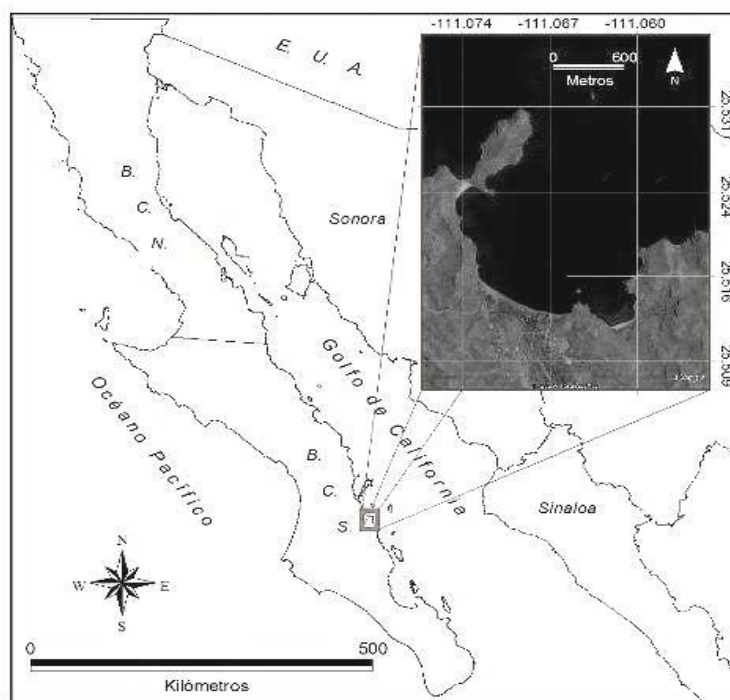


Figura 1. Localización de Agua Verde, B.C.S., en la región centro occidental del Golfo de California.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente esta especie se encuentra protegida por la NOM-ECOI-059-2001 bajo el estatus de protección especial, por la reducción de sus poblaciones, sin embargo es una especie de gran atractivo para la pesca comercial y para los buzos deportivos, debido a la calidad elevada de su músculo aductor (callo). Esto hace que exista un interés manifiesto por parte de las cooperativas pesqueras asentadas en las riberas del Golfo de California para su explotación comercial.

5. JUSTIFICACIÓN

S. calcifer fue declarada bajo protección especial y existe poca información biológica para establecer las características poblacionales. Actualmente existe el interés por parte de los pescadores ribereños para su explotación comercial, siendo necesario abordar aspectos de la reproducción, edad y el crecimiento, debido a que son elementos esenciales para el manejo de los recursos, de ahí que se plantean las siguientes interrogantes:

¿En qué meses se presenta el desove en la zona de estudio?

¿Cuál es la estructura de tallas y edades de la población?

¿Cuál es la tasa de crecimiento individual?

¿Cuál es la edad y talla de reclutamiento a la reproducción?

¿Cuál es el efecto de la temperatura en la reproducción y el crecimiento?

¿Cómo se relaciona la reproducción con el crecimiento?

6. HIPÓTESIS

En la mayoría de los bivalvos marinos, el crecimiento y la reproducción están relacionados con factores ambientales como la temperatura y la disponibilidad del alimento. Asimismo, se ha reportado que el crecimiento y la reproducción presentan

una relación inversa, es decir una disminución del crecimiento en la época reproductiva, asociándose a la formación de las bandas oscuras en la concha, por lo tanto se plantea la siguiente hipótesis:

Durante la época reproductiva (verano-otoño) el crecimiento individual de *S. calcifer* disminuye, mientras que durante el periodo de inactividad reproductiva (invierno-primavera) el crecimiento se incrementa, asociándose a los cambios estacionales de temperatura.

7. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar el evento reproductivo y estimar la edad y el crecimiento individual de *S. calcifer* en la zona centro occidental del Golfo de California (Agua Verde, B.C.S.).

7.1 Metas

- Estimar la estructura de tallas
- Determinar el ciclo reproductivo
- Estimar la estructura por edades
- Estimar el crecimiento individual
- Relacionar el ciclo reproductivo con el patrón de crecimiento individual
- Estimar la talla y edad de reclutamiento a la reproducción
- Relacionar la reproducción y el crecimiento con la temperatura del agua

8. MATERIAL Y MÉTODOS

8.1 Muestreo

De enero a diciembre de 2009 se realizaron muestreos mensuales donde se recolectaron de 35 a 40 individuos de la almeja burra (*S. calcifer*) en la zona centro occidental del Golfo de California (Agua Verde, B.C.S.), se utilizó una embarcación menor y equipo de buceo libre. Los organismos fueron desprendidos de las rocas extrayendo la valva superior que incluía las partes blandas utilizando un cuchillo con hoja flexible, los cuales fueron colocados en hielo y transportados al laboratorio. Los organismos colectados, se disecaron y se les determinó la longitud de la concha (LC) con un vernier ($\pm 0.1\text{mm}$), desde el margen anterior al posterior, la altura de la concha (AC) desde el umbo al margen ventral (Fig. 2), así como el peso total de las partes blandas, del músculo aductor, de la masa visceral y de la gónada ($\pm 0.1\text{gr}$).

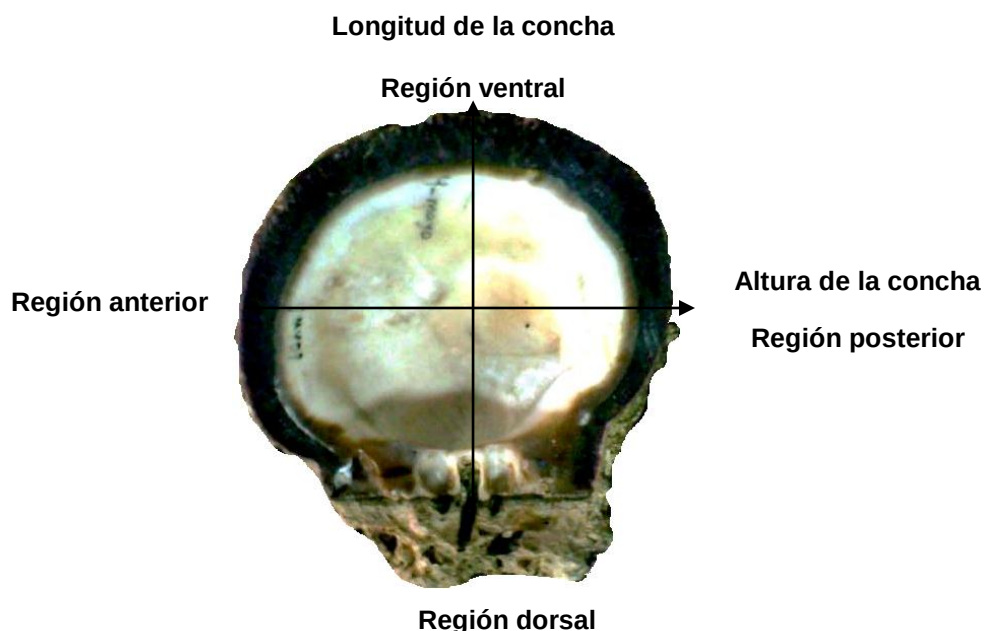


Figura 2. Variables morfométricas de la concha de *S. calcifer*.

8.2 Estructura de tallas

La estructura de tallas de *S. calcifer* se determinó agrupando los datos en intervalos de 5 mm de AC. Se evaluó la normalidad de la distribución utilizando una prueba de bondad de ajuste. Se realizó una prueba de Kolmogorov Smirnov para saber si existían diferencias de las tallas entre sexos.

8.3 Ciclo reproductivo

Para describir el ciclo reproductivo se utilizó el método histológico. Primero se extrajeron las gónadas de los organismos y se fijaron en formol neutro al 10%, en el laboratorio se obtuvo un trozo cúbico del tejido de la gónada, posteriormente se procedió a efectuar un lavado del fijador con agua corriente durante 24 horas, se deshidrató la muestra con alcohol etílico en concentración creciente y se incluyó en parafina. Se realizaron cortes de 3 a 5 μm de grosor con un micrótomos de rotación. Una vez obtenidos los cortes, se les eliminó la parafina con un solvente no tóxico, se hidrataron y se tiñeron con hematoxilina de Harris y con una solución alcohólica al 1% de eosina; eosina azul y eosina amarilla como contraste (Humason, 1979). Finalmente, las preparaciones obtenidas se montaron con resina sintética para su posterior observación al microscopio.

La clasificación del desarrollo gonadal se realizó de acuerdo a las categorías asignadas por Villalejo-Fuerte *et al.* (2002) los cuales consideraron cinco fases: Indiferenciado, desarrollo, madurez, desove y posdesove. Se describió el ciclo reproductivo graficando las frecuencias relativas mensuales de las fases de desarrollo durante un ciclo anual.

8.4 Proporción de sexos

El sexo se identificó a partir del análisis de los cortes histológicos, se determinó la proporción de hembras y machos de manera total y mensual. Esta

proporción se analizó mediante una prueba de chi-cuadrada, estableciendo como hipótesis nula la igualdad entre la proporción de machos y hembras (Sokal & Rohlf, 1979).

8.5 Estimación de la edad

La metodología más común para estimar la edad en moluscos bivalvos implica realizar cortes en el diámetro mayor de la concha desde el umbo hasta la región anterior, y obtener secciones de 0.5 mm grosor, o tener impresiones en acetatos de dichos cortes. La presencia de una gran cantidad de organismos incrustantes a lo largo de la longitud de las conchas de almeja burra dificulta la interpretación de las marcas de crecimiento presentes, por lo que se decidió probar regiones alternativas para la estimación de la edad, utilizando para ello el umbo y los dientes de la charnela (Fig. 3).

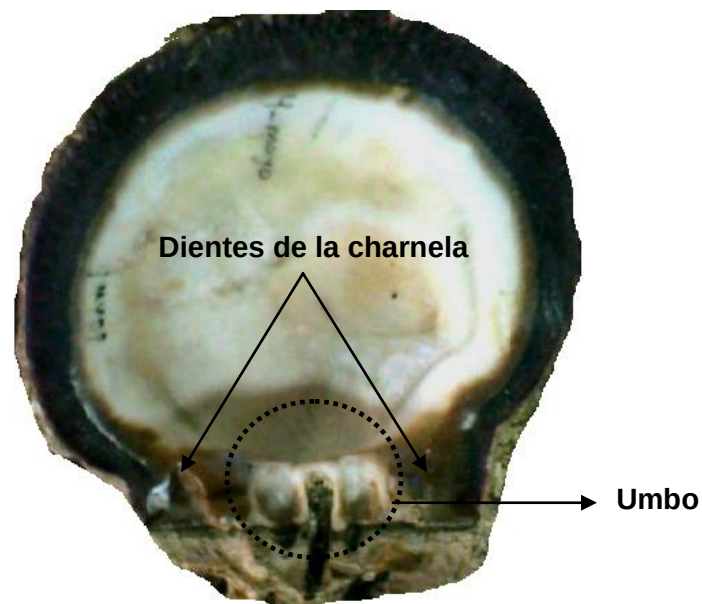


Figura 3. Concha de *S. calcifer* indicando los dientes de la charnela y la región del umbo

Se obtuvieron cortes de las conchas de almeja burra, desde el umbo hasta la parte ventral siguiendo la línea media (Fig. 4), así como del diente de la charnela con una cortadora comercial para concreto con un disco para corte húmedo. Los cortes

fueron pulidos utilizando abrasivos de grano decreciente (200-600). Cada uno de los cortes se catalogó como adecuado, cuando la lectura de las marcas de crecimiento no se vio afectada por los organismos incrustantes; dañado cuando las horadaciones afectaban a las marcas de crecimiento pero se podían contar y descartado, cuando el daño era tal que impedía la estimación de la edad.

La lectura de las marcas de crecimiento se obtuvo de manera independiente por dos lectores, sin conocimiento de la talla o la fecha de captura. Los individuos se clasificaron en grupos de edad de acuerdo al número de marcas de crecimiento. Cada marca de crecimiento se consideró como el conjunto de una banda blanca y una oscura.



Figura 4. Corte transversal de la valva izquierda hecho sobre el diente de la charnela: Los puntos negros indican las marcas de crecimiento.

8.6 Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento

Para estimar la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento se analizó el porcentaje mensual de conchas con borde blanco. El mínimo de bordes blancos en esta distribución reveló la finalización de la formación de la marca de crecimiento, mientras que el máximo de bordes oscuros indicó su inicio.

8.7 Estructura de edades

El grupo de edad anual fue definido por el número de bandas blancas en la concha, así un organismo con ocho bandas blancas en la concha, se clasificó en el grupo de edad 8. Se elaboró una clave edad-longitud por mes para asignar edad a los organismos a los que no se les recolectó la concha o no se les estimó la edad por los daños que presentaba (Anexo 1). La estructura por edades se estimó con base en la frecuencia de aparición de cada grupo de edad en toda la muestra. Para saber si existían diferencias en la estructura por edades por sexo se realizó una prueba no paramétrica de Kolmogorov Smirnov.

8.8 Estimación del crecimiento

Con los datos de la edad, obtenidos de los conteos de las marcas de crecimiento y los de la altura de la concha, se estimó la talla promedio por grupo de edad.

Se utilizó el modelo de crecimiento de von Bertalanffy, que es el más utilizado en la estimación del crecimiento de organismos acuáticos, ya que es un modelo simple, con bases fisiológicas y se ha visto que se ajusta a un amplio intervalo de patrones de crecimiento. Este modelo está representado con la siguiente fórmula:

$$AC_t = AC_{\infty} [1 - e^{-k(t-t_0)}]$$

Dónde:

AC_t : altura de la concha a la edad t ; AC_{∞} : altura asintótica de la concha; k : tasa de crecimiento o parámetro de curvatura; t_0 : edad hipotética cuando la longitud es igual a cero; t : edad.

8.9 Talla y edad de reclutamiento a la reproducción

En la estimación de talla y edad de reclutamiento a la reproducción se utilizó la frecuencia relativa, correspondiente al 50% de los organismos maduros, desove y posdesove, ajustando los datos al modelo logístico.

$$P = \frac{1}{1 + e^{-(a+b*AC)}} \quad AC_{50\%} = a/b$$

Dónde:

- P= Proporción acumulada de organismos maduros, desove y posdesove
- AC= Talla o edad
- AC_{50} = Talla o edad de reclutamiento a la reproducción
- a, b = Parámetros del modelo

8.10 Relación de la reproducción y el crecimiento con la temperatura superficial del mar (TSM)

Se analizó la relación entre la reproducción, el crecimiento individual y la temperatura superficial del mar (TSM). La TSM se obtuvo con un termómetro de registro continuo en el sitio de colecta durante los muestreos mensuales.

Para analizar la relación de la reproducción con la TSM, se consideraron los porcentajes mensuales de organismos maduros, desove y posdesove.

Se considera que las bandas de crecimiento oscuras (opacas) se depositan durante los periodos de crecimiento rápido, es por esto que se correlacionó el porcentaje de conchas con borde oscuro con la reproducción y la TSM.

En estos análisis se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman (R_s). Este método no requiere de una distribución normal de los datos e indica el grado de una relación monótonica entre dos variables, esto es, cuando el incremento de una

variable es acompañado por el incremento en la otra, es una relación monotónica positiva, mientras que si el incremento en una está asociado al descenso en la otra es una relación monotónica negativa (Sheskin, 2004).

9. RESULTADOS

9.1 Muestreo

En los muestreos mensuales realizados en la zona de estudio, se obtuvieron un total de 449 especímenes de *Spondylus calcifer*, con un promedio de 37 organismos por mes, el mayor número de ellos fue en enero con 51 y el mínimo en julio con 28 ejemplares (Fig. 5).

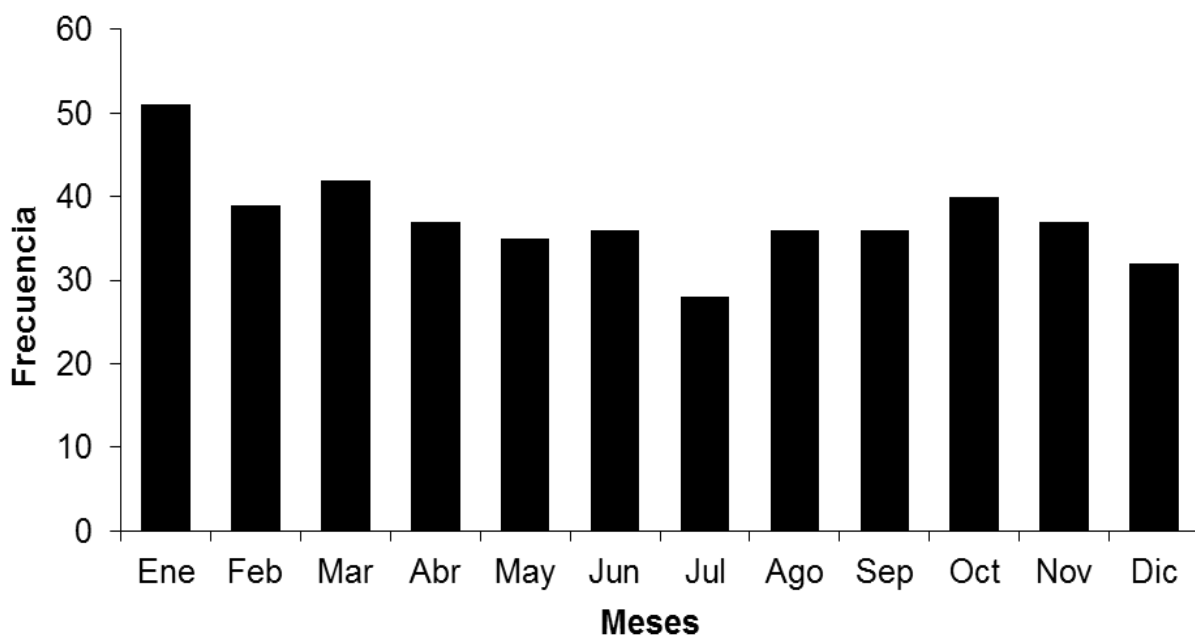


Figura 5. Frecuencia mensual de organismos capturados de *S. calcifer* en la zona centro occidental del Golfo de California.

9.2 Estructura de tallas

El intervalo de tallas analizado durante el ciclo anual fue de 4.3 a 16.9 cm AC, con una moda de 12.3 cm AC y talla promedio de 12.7 ± 1.76 (desviación estándar) cm AC. La estructura de tallas agrupada en intervalos de 0.5 cm AC, no presentó una distribución normal (Kolmogorov Smirnov, $p < 0.05$). El 73% de los individuos colectados presentaron tallas entre 11.8 y 16.8 cm AC, el resto fueron individuos menores a estas tallas (Fig. 6).

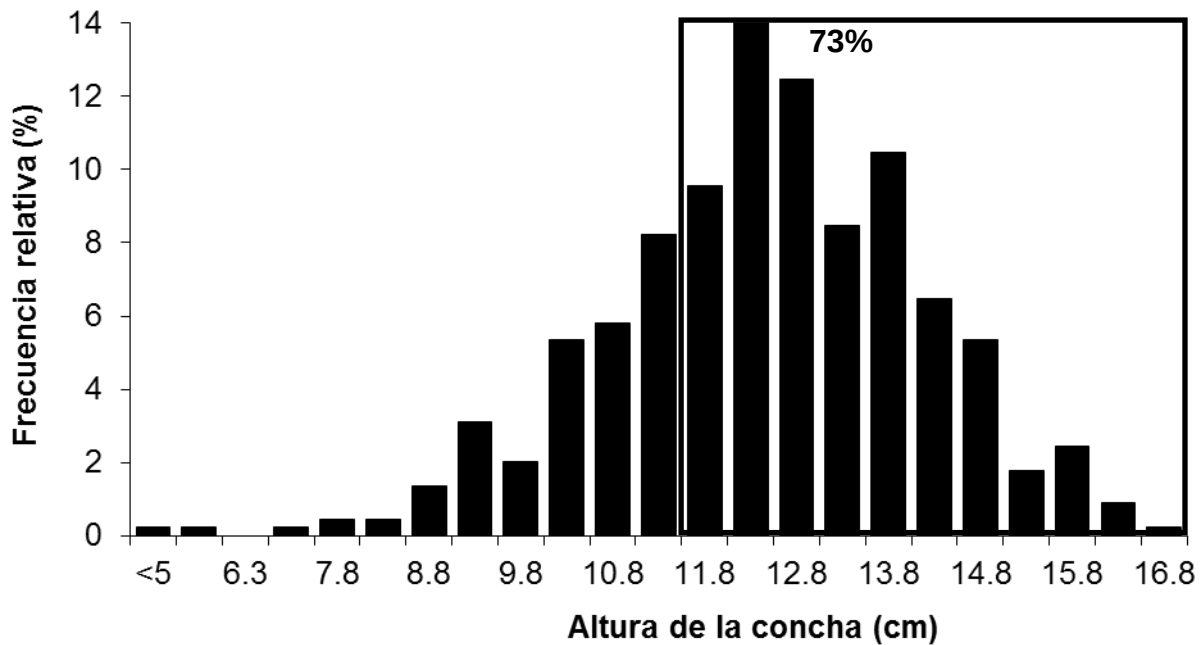


Figura 6. Estructura de tallas de *S. calcifer* en la zona centro occidental del Golfo de California.

Para obtener la estructura de tallas mensual, después de aplicar la regla de Sturges (Daniel, 2002) los datos de altura de la concha se agruparon en intervalos de 1 cm, donde los intervalos de 13 y 14 cm AC fueron los que tuvieron las frecuencias más altas a lo largo del año. Los organismos menores a 9 cm AC se observaron a principios de año (enero y marzo), mientras que los mayores a 15 cm AC no presentaron un patrón definido (abril, mayo, junio, septiembre y noviembre). Es posible observar una progresión en la talla promedio mensual, iniciando en enero (11.2 cm AC) hasta alcanzar su máximo en junio (14.1 cm AC), seguido de este mes el comportamiento es azaroso (Fig. 7).

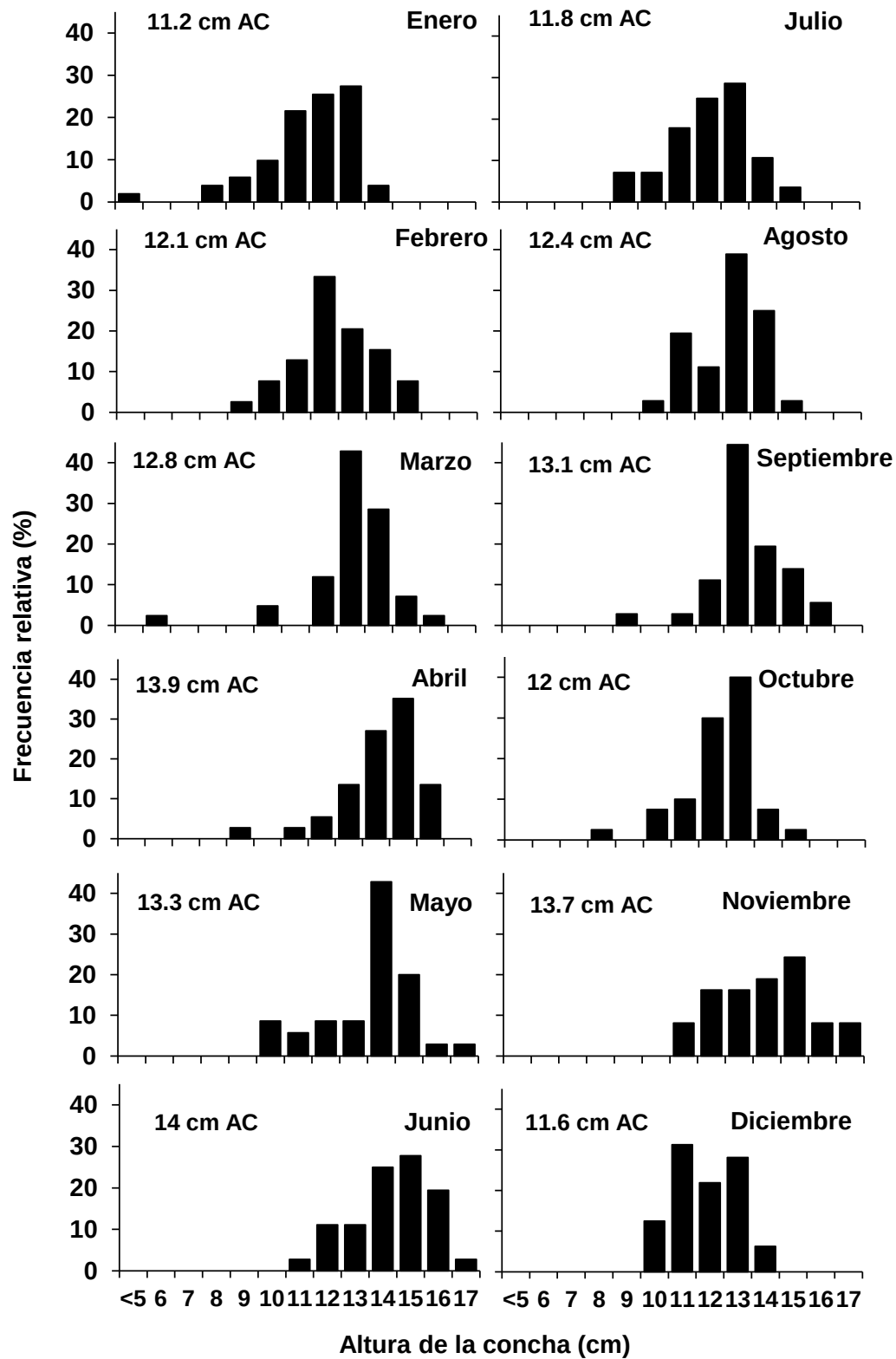


Figura 7. Estructura de tallas por mes de *S. califer* en la zona centro occidental del Golfo de California. Se incluye la talla promedio.

9.3 Fases de desarrollo gonádico

Para los análisis histológicos se utilizaron un total de 397 cortes de gónadas, donde se determinaron cinco fases de desarrollo gonádico de acuerdo a la propuesta para esta especie por Villalejo-Fuerte *et al.* (2002). En la observación macroscópica, la gónada se encuentra diferenciada de las demás partes blandas, rodeada por la glándula digestiva y el músculo aductor. A continuación se describen las fases de desarrollo gonádico de *S. calcifer* en la zona centro occidental del Golfo de California.

Indiferenciado

Esta fase se caracteriza por la ausencia de células sexuales en la gónada, por lo que no es posible distinguir el sexo. Se observan acinos vacíos, el tejido conjuntivo ocupa casi todo el espacio, dentro de este tejido los núcleos de las células germinales se hacen evidentes (Fig. 8).

Hembras

Desarrollo

Se observan ovogonias en desarrollo y algunos ovocitos comenzando a madurar, creciendo hacia el lumen de los acinos. Los espacios entre los acinos son ocupados por tejido conjuntivo (Fig. 9a).

Madurez

Los acinos son más grandes que en la etapa de desarrollo, los ovocitos se observan maduros (55 µm de diámetro promedio) tienen forma poligonal con núcleo vesicular grande, un solo nucléolo y se aprecia como el núcleo emigra al polo animal. Existen pocos espacios dentro de los acinos (Fig. 9b).

Desove

En esta fase se comienza a observar la expulsión de los ovocitos a través de los conductos evacuadores. El número de ovocitos comienza a disminuir dentro de

los acinos. Las paredes de los acinos se encuentran rotas y hay espacios entre ellos ocupado por tejido conjuntivo (Fig. 9c).

Posdesove

En esta fase, los acinos se encuentran vacíos y rotos, se observan dentro de ellos algunos ovocitos residuales que empiezan a ser reabsorbidos o fagocitados por los fagocitos dentro y fuera de los acinos. Existe abundante tejido conjuntivo, sin presencia de actividad sexual (Fig. 9d).

Machos

Desarrollo

Cantidades variables de células espermáticas. Se observan espermatocitos primarios y secundarios en los túbulos, el tejido conjuntivo comienza a disminuir entre los túbulos (Fig. 10a)

Madurez

A diferencia del estadio de desarrollo en esta fase los túbulos se encuentran llenos de espermatozoides. Espermatocitos de primer y segundo orden en la periferia del túbulo, espermátidas y espermatozoides en el lumen, donde serán expulsados por medio del conducto evacuador. El tejido conjuntivo está ausente (Fig. 10b).

Eyaculación

En esta fase hay expulsión de espermatozoides por medio del conducto evacuador. Túbulos parcialmente vacíos, con grandes espacios dentro y una disminución en el número de espermatozoides. Algunos espermatocitos permanecen en las paredes de los túbulos (Fig. 10c).

Poseyaculación

Los túbulos se encuentran vacíos, algunos espermatozoides residuales se observan dentro de ellos. Los gametos se encuentran en proceso de fagocitosis por los fagocitos dentro y fuera de los túbulos. Existe abundante tejido conjuntivo, sin presencia de actividad sexual (Fig. 10d).

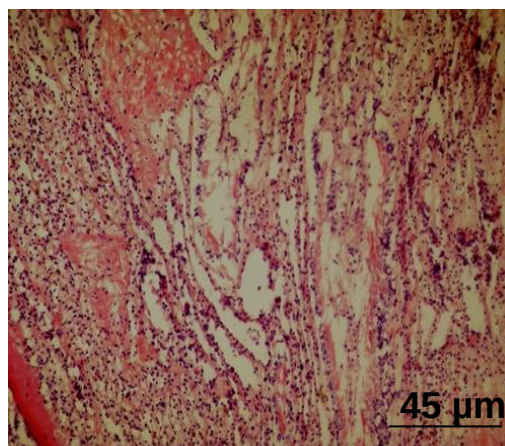


Figura 8. Microfotografía de una gónada en fase indiferenciada de *S. calcifer*.

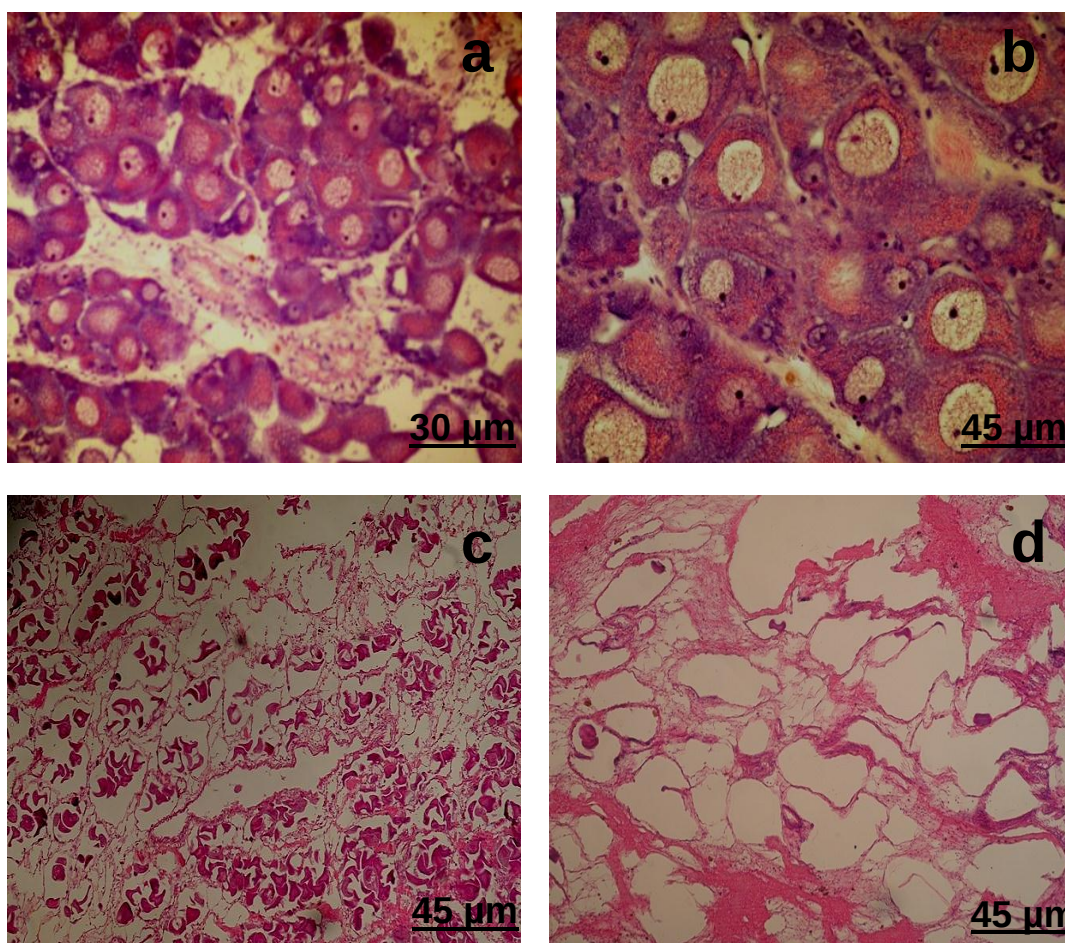


Figura 9. Fases de desarrollo gonádico de hembras de *S. calcifer*; a) desarrollo 40x, b) madurez 40x, c) desove 20x, d) posdesove 20x.

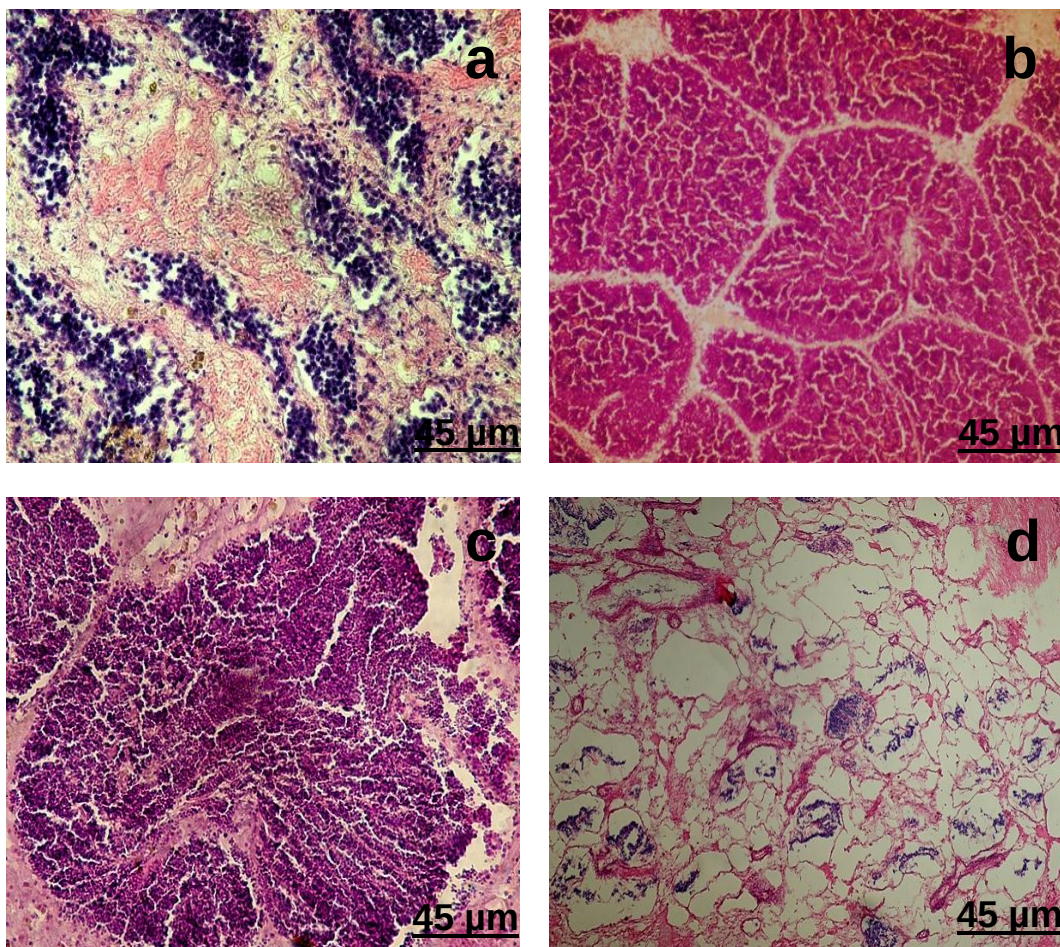


Figura 10. Fases de desarrollo gonádico de machos de *S. calcifer*; a) desarrollo 20x, b) madurez 20x, c) eyaculación 40x, d) poseyaculación 20x.

9.4 Ciclo reproductivo

Al analizar la frecuencia mensual de los organismos en las distintas fases de desarrollo gonádico se encontró que la gametogénesis (desarrollo) se presenta en marzo y abril cuando el 44% y 80% respectivamente de los organismos se encontraron en esta fase. La madurez se observó en mayo-agosto (84%, 85%, 89% y 46% respectivamente). Mientras que el desove tuvo lugar en julio-octubre (7%, 54%, 29% y 36% respectivamente). El posdesove ocurrió en septiembre y octubre (58% y 11%). Por último de noviembre a febrero cerca del 100% de los especímenes se encontraron indiferenciados (Fig. 11). Con lo anterior podemos sugerir que la época reproductiva de esta especie sucede de agosto a octubre.

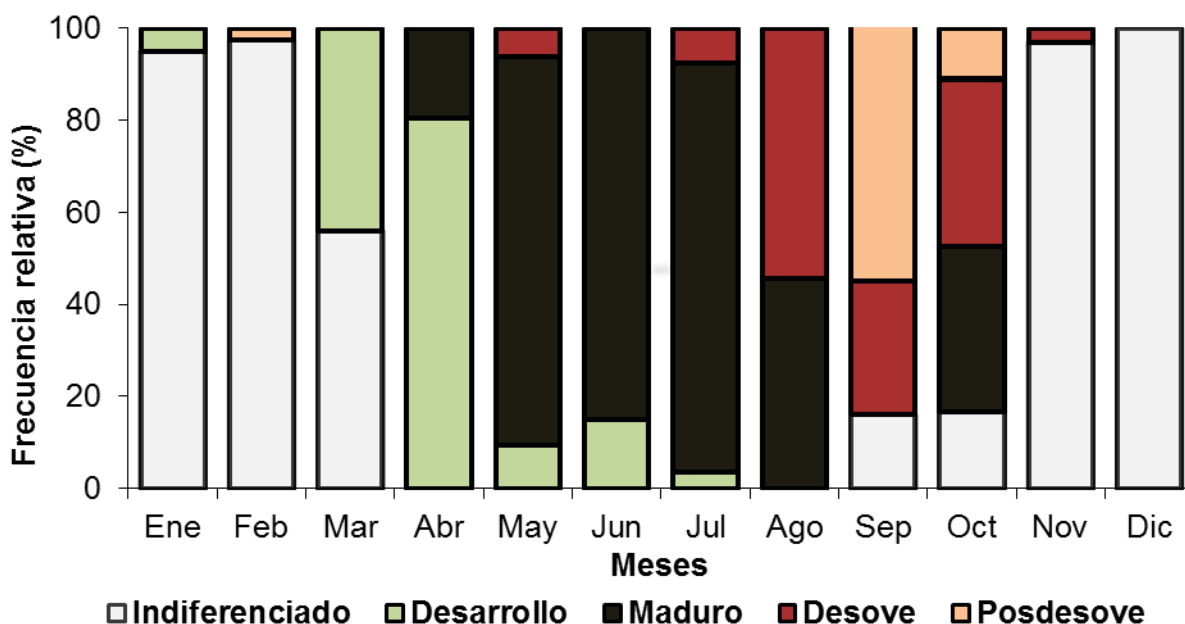


Figura 11. Frecuencia relativa de las fases de desarrollo gonádico de *S. calcifer* en la zona centro occidental del Golfo de California.

9.5 Proporción de sexos

De los 449 organismos colectados 94 fueron hembras (21%), 145 machos (32%) y el resto no se les pudo determinar el sexo ($n=210$, 47%). La proporción de sexos mostró diferencias significativas ($X^2=12.1$; $p<0.05$), siendo los machos más abundantes que las hembras (1H: 1.58M). De noviembre a febrero no se pudo estimar la proporción sexual debido a que los organismos estuvieron indiferenciados. En marzo, mayo, junio, agosto y septiembre se encontró el mismo número de machos que hembras, a pesar de que en mayo existió una mayor presencia de machos, esta no fue significativa ($X^2=3.1$; $p>0.05$). Se registraron diferencias significativas en abril ($X^2=5.7$; $p<0.05$, 1H: 2.4 M), julio ($X^2=4.5$; $p<0.05$, 1H: 2.3M) y octubre ($X^2=10$; $p<0.05$, 1H: 3.6M). Estas diferencias se pueden observar en la figura 12.

Es importante mencionar que se encontraron dos organismos hermafroditas en abril, siendo este es el primer reporte de hermafroditismo en esta especie, donde

se observó presencia de gametos masculinos y femeninos en etapa de desarrollo dentro de la gónada observándose ovogonias y espermatidas (Anexo 2).

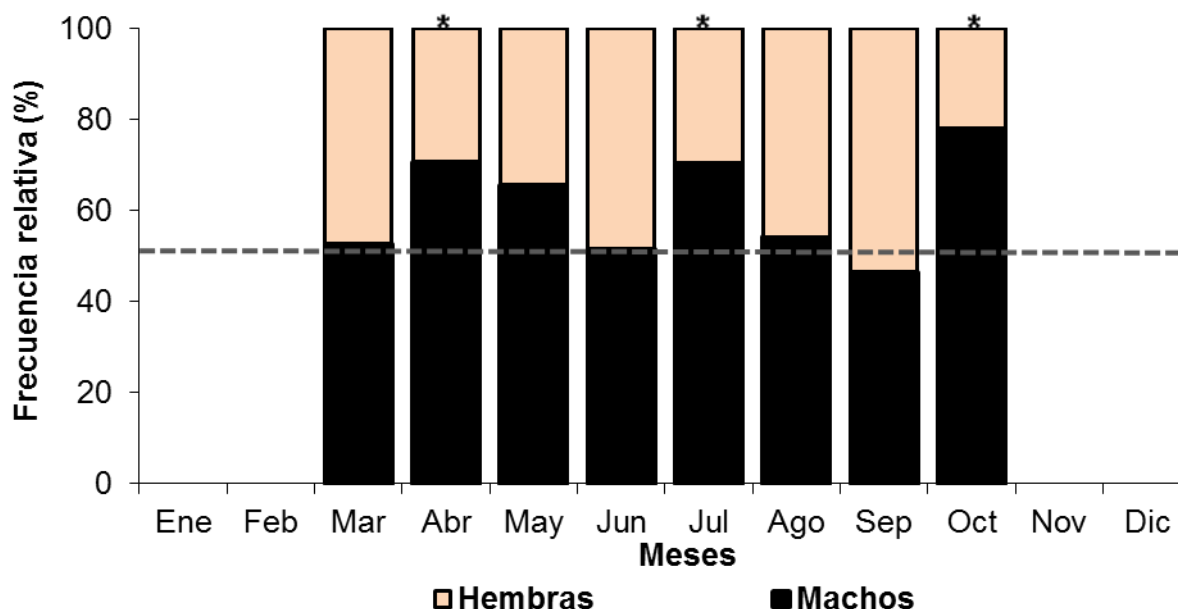


Figura 12. Proporción de sexos de *S. calcifer* en la zona centro occidental del Golfo de California (* diferencias significativas).

9.6 Estructura de tallas por sexo

El intervalo de tallas analizado para hembras fue de 9.4-16.3 cm AC, mientras que el de machos va de 6.1-16.9 cm AC. No se detectaron diferencias significativas en la estructura de tallas debidas al sexo ($D_{Max}=0.15$, $p> 0.10$). A pesar de esto los machos fueron más abundantes que las hembras, excepto en los intervalos de 13 y 14 cm AC. El 77% de machos y hembras presentaron tallas entre 11.8 y 16.9 cm AC (Fig. 13).

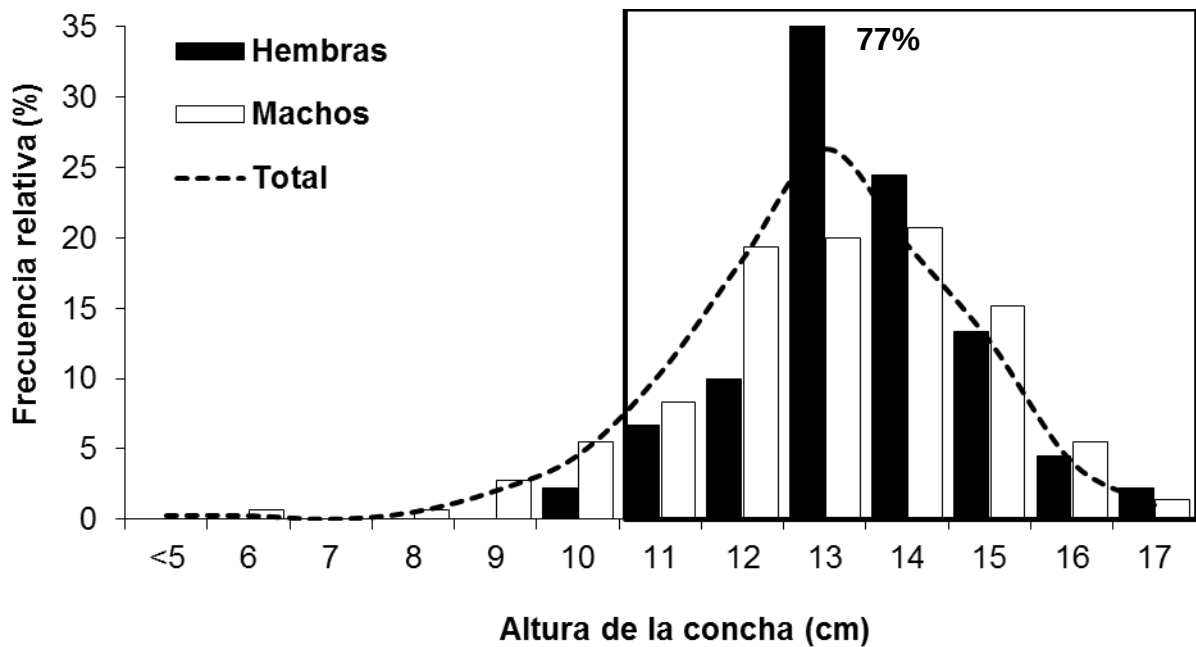


Figura 13. Estructura de tallas por sexo de *S. calcifer* en la zona centro occidental del Golfo de California.

9.7 Preparación de las conchas para la estimación de la edad

De los 449 organismos que se les registró la talla, se utilizaron 391 valvas para la estimación de la edad.

Para determinar la región más adecuada para estimar la edad, se seleccionaron y cortaron 43 valvas de la almeja burra con un intervalo de tallas de 4.3-13.9 cm AC. La zona donde se observó con mayor claridad las marcas de crecimiento fue en el diente de la charnela, donde el 72% de las lecturas fue adecuada, el 21% se catalogó como dañada pero aun así se leyeron y se descartó solo el 7% de las conchas (Fig. 14). En las lecturas hechas en la región del umbo, el 46% se consideraron adecuadas, el 34% dañada y el 20% descartada. Mientras que el 46% de las conchas que se leyeron a lo largo del corte longitudinal fueron descartadas. Los resultados de esta prueba se presentan en la figura 15.

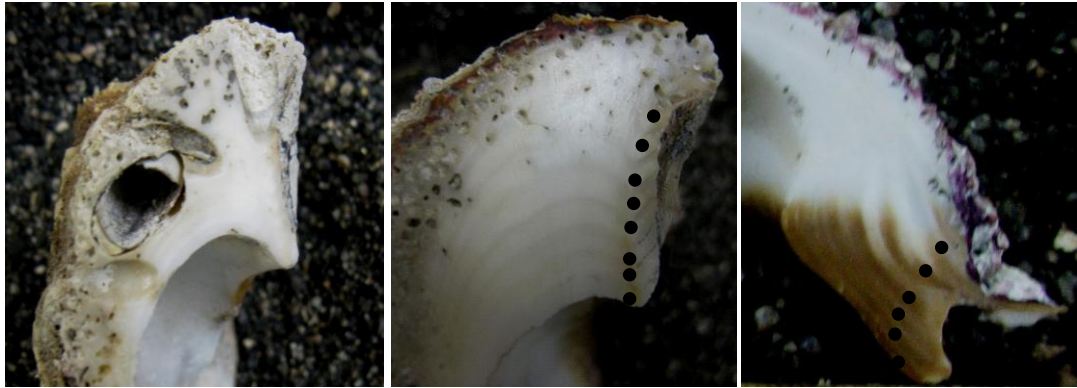


Figura 14. Calidad de los cortes de las conchas a) corte en el umbo descartado, b) corte en el umbo de una concha dañada y c) corte adecuado en el diente de la charnela.

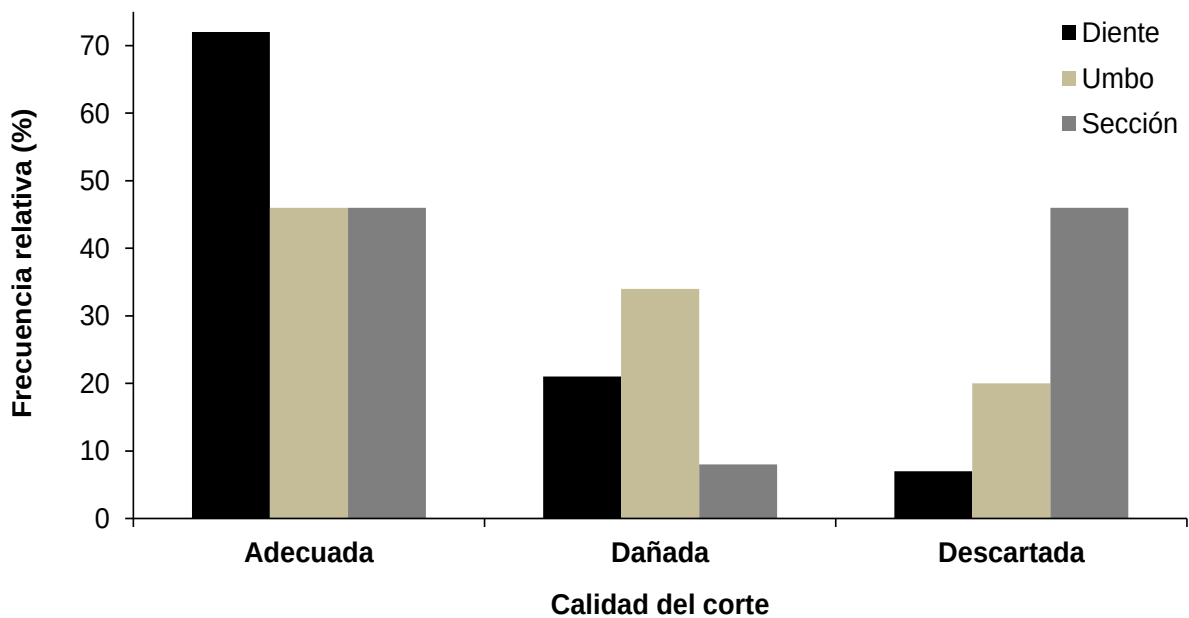


Figura 15. Calidad de la región del corte de las conchas de *S. calcifer* para hacer las estimaciones de edad (n=43).

Debido al gran número de muestras descartadas en los cortes de las secciones longitudinales, solo se hicieron las comparaciones de la estimación del número de marcas de crecimiento entre lectores, utilizando solo los cortes del umbo y del diente de la charnela de un total de 76 especímenes. En la región del umbo se pudieron leer las marcas de 35 conchas (21 adecuadas y 14 dañadas) y de 37 en el diente de la charnela (31 adecuadas y 9 dañadas). Se obtuvo una mayor concordancia entre las lecturas hechas en el diente, pues en el 72% no hubo diferencias, en el 23% hubo $\pm$ una marca de diferencia, mientras que en la región del

umbo se presentaron hasta $\pm$ tres marcas de diferencia y el porcentaje en el que coincidieron las lecturas fue del 27% (Fig. 16). Por lo anterior, la estimación de la edad se hizo observando las marcas de crecimiento en los cortes del diente de la charnela.

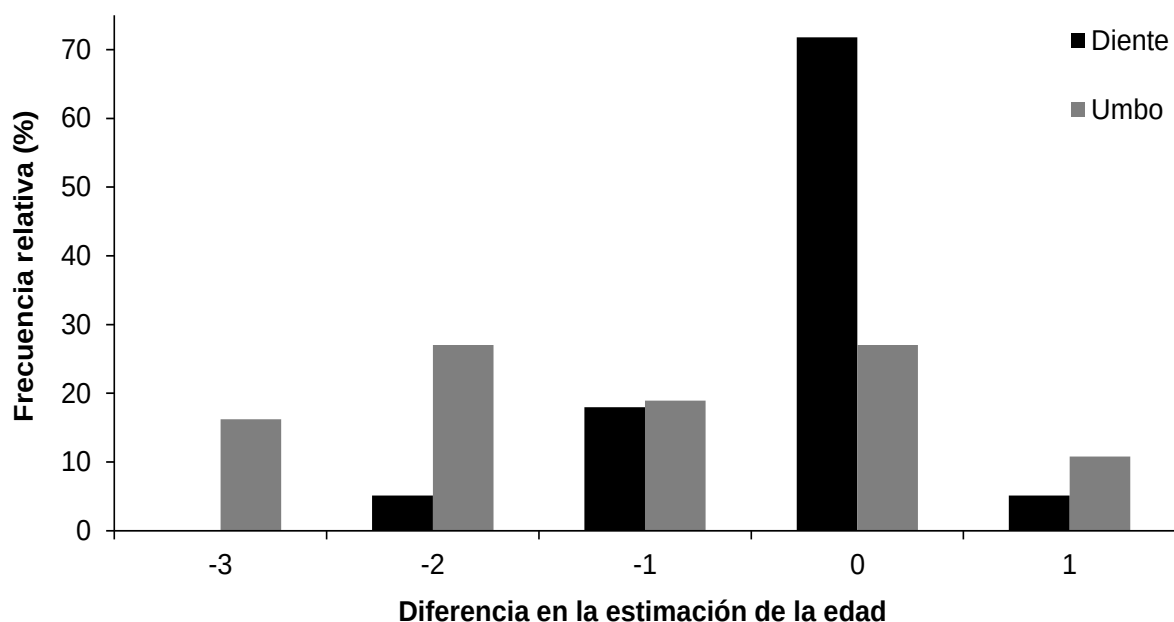


Figura 16. Diferencia entre lectores en la estimación del número de marcas de crecimiento en las conchas de *S. calcifer* de acuerdo a la región seleccionada (n=76).

9.8 Lectura de las marcas de crecimiento

De los 449 organismos de *S. calcifer* a los que se les registró la talla, se colectaron 391 valvas. El número menor de muestras se obtuvo en enero con 15 y el mayor en marzo con 42, en este último mes fue en el que se descartó el mayor número de conchas (15). En la figura 17 se presenta el número de conchas leídas y descartadas por mes. Se estimó la edad a un total de 306 conchas (78%), se descartaron 85 conchas (22%) principalmente por las perforaciones ocasionadas por los organismos epibiontes. Cabe mencionar que con la clave edad-longitud se les pudo asignar la edad al total de los organismos colectados (Anexo I).

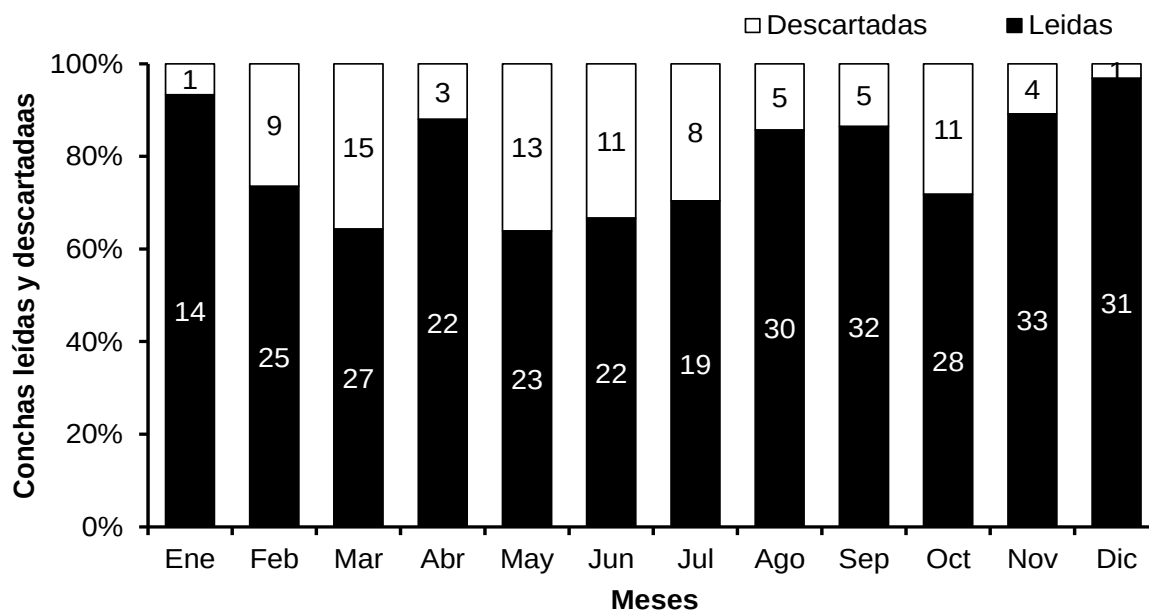


Figura 17. Porcentajes de conchas utilizadas para estimar la edad de *S. calcifer* en la zona centro occidental del Golfo de California.

9.9 Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento

Al momento de llevar a cabo las lecturas de las marcas de crecimiento, se registró el tipo de borde que presentaba cada concha (oscuro o blanco). Al analizar el porcentaje de organismos con bordes blancos, se observó que las frecuencias más altas se presentaron en el invierno, ocurriendo un descenso durante la primavera, hasta alcanzar el mínimo en el verano (Fig. 18), observándose un patrón inverso en los bordes oscuros, lo anterior sugiere que la formación de las marcas de crecimiento es anual.

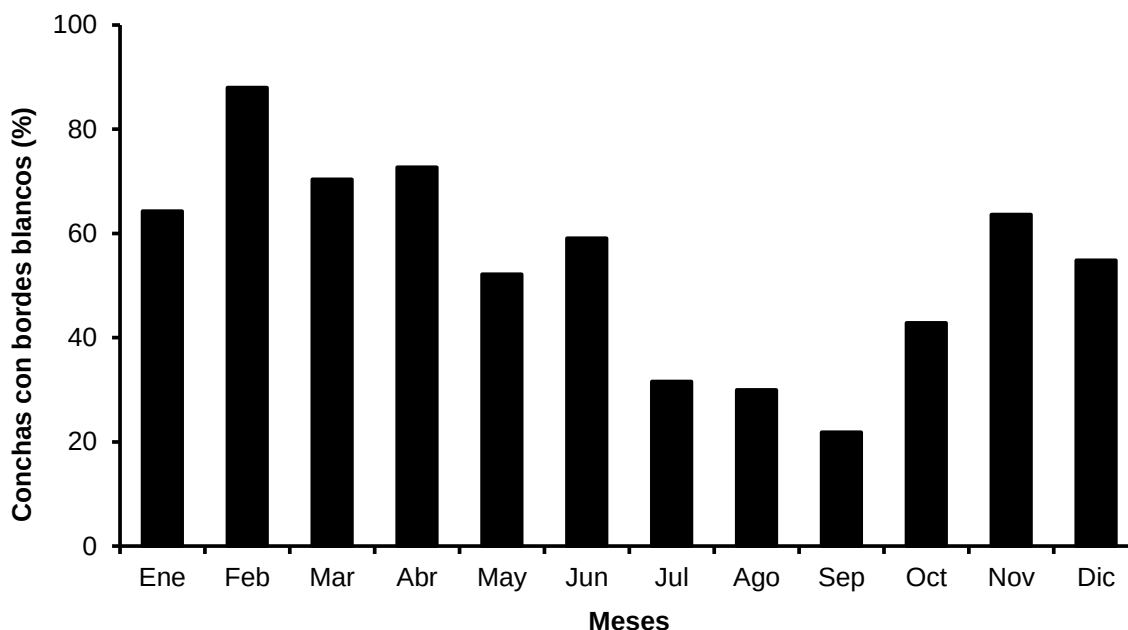


Figura 18. Porcentaje mensual de conchas con bordes blancos de *S. calcifer* en la zona centro occidental del Golfo de California.

9.10 Estructura por edades

Se encontraron 15 grupos de edad de *S. calcifer* (del 0 al 14), donde los grupos 0 y 1 fueron escasos (1.8%), el grupo más representativo fue el cinco (26%), seguido por el seis (18%) y el cuatro (15%). Los organismos del grupo 5 y mayores representaron el 70% de la muestra (Fig. 19).

9.11 Estructura de edades por sexo

En la estructura de edades por sexo, los machos tuvieron de 0 a 14 años y las hembras de 2 a 13 años. Los grupos de edad 0 y 1 en los machos fueron escasos (1.7%) y en las hembras estuvieron ausentes. El 74% de los especímenes presentaron de 5 hasta 14 años de edad. No se detectaron diferencias significativas en la estructura de edades con respecto al sexo ($D_{Max}=0.098$, $p>0.10$) (Fig. 20).

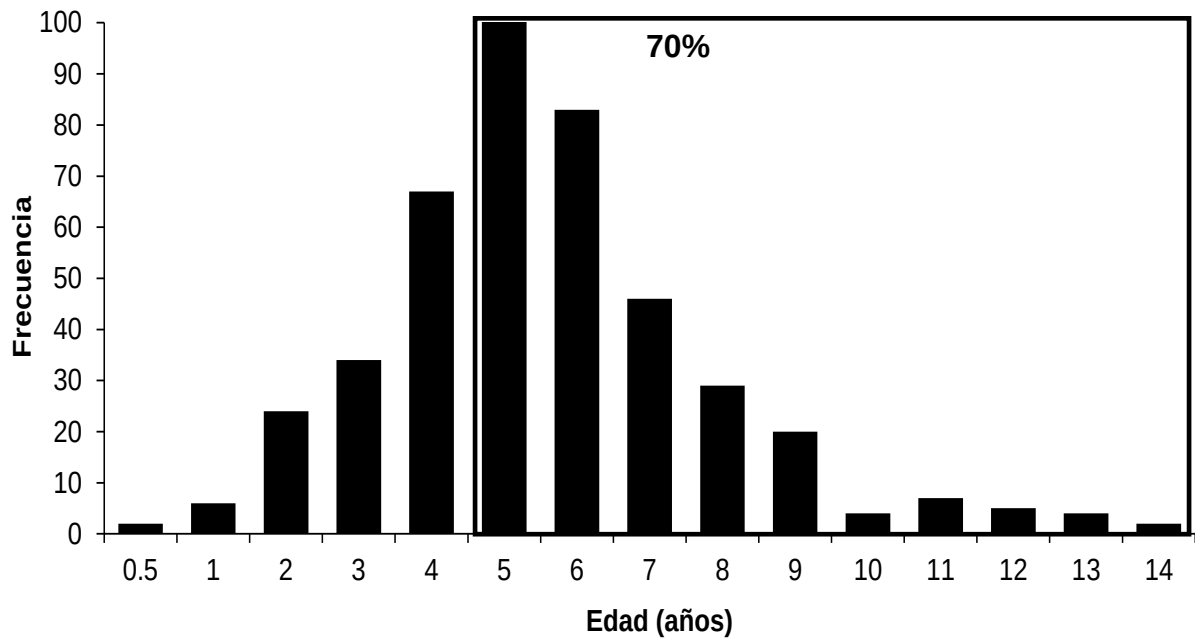


Figura 19. Estructura de edades de *S. calcifer* en la zona centro occidental del Golfo de California.

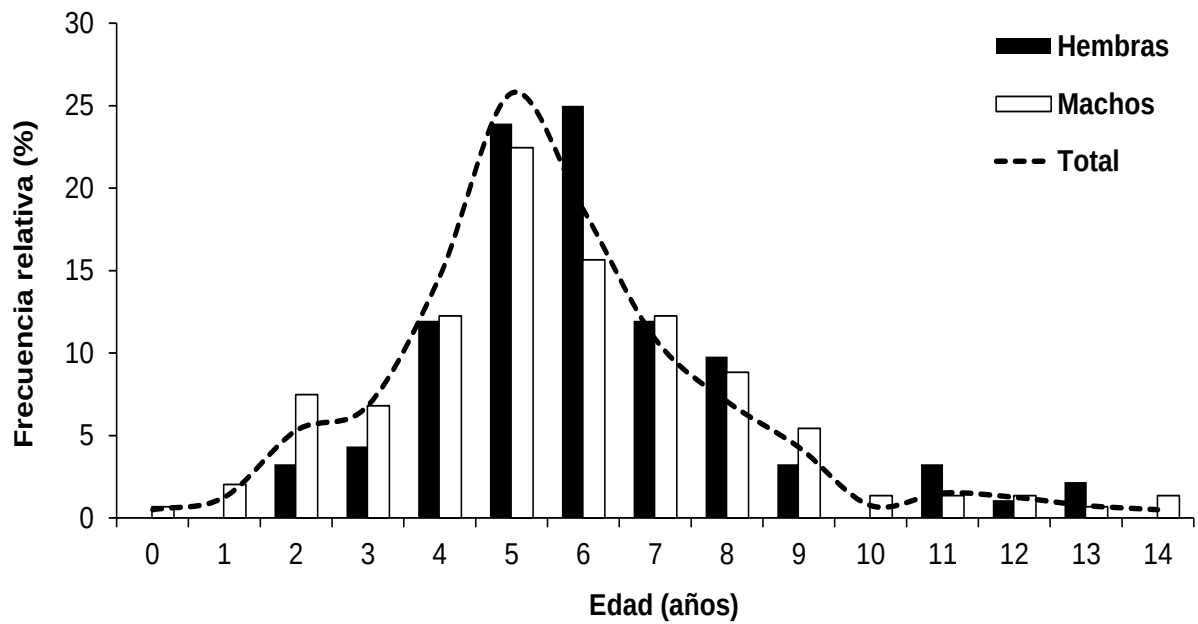


Figura 20. Estructura de edades por sexo de *S. calcifer* en la zona centro occidental del Golfo de California.

9.12 Estructura de edades por mes

De manera mensual, el grupo más común fue el de edad 5 (enero=32%, marzo=38%, agosto=36% septiembre=36%, octubre=43% y diciembre=38%), seguido del grupo 6 con 25% en junio, agosto (36%) y noviembre (19%). Los individuos del grupo de edad 0 solo estuvieron presentes en los primeros meses del año (enero=2% y marzo=2.4%), mientras que los organismos de un año de edad no presentaron un patrón definido, pues se observaron en enero (6%), abril (2.7%), julio (3.6%) y octubre (2.5%). No es posible establecer una época o periodo de reclutamiento, ya que no se detectó un incremento de los organismos de los grupos de edad 0 y 1 (Fig. 21).

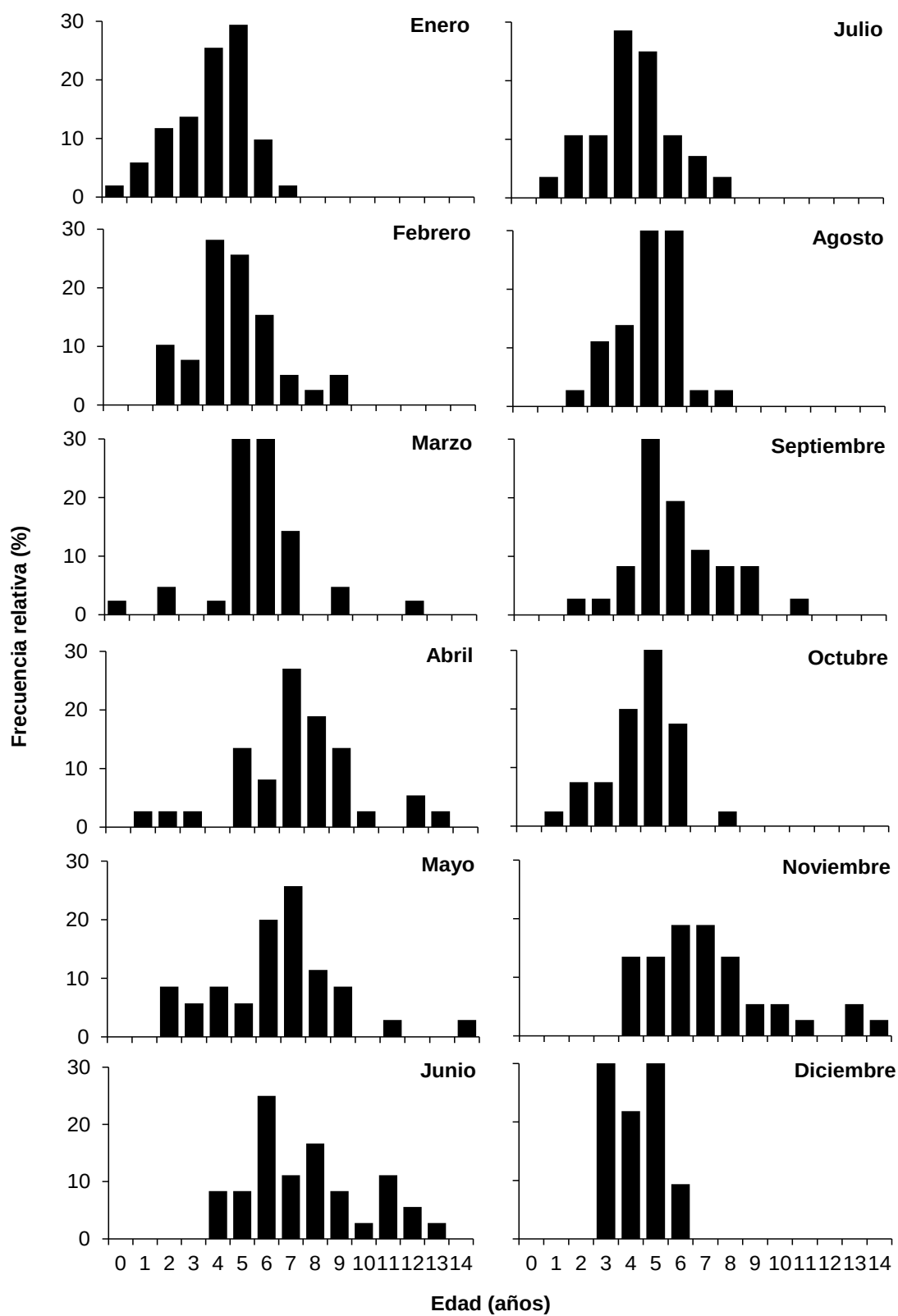


Figura 21. Estructura de edades por mes de *S. calcefer* en la zona centro occidental del Golfo de California.

9.13 Crecimiento individual

Con los datos de talla y edad ($n=306$) se estimó el crecimiento individual mediante el modelo de crecimiento de von Bertalanffy (MCVB). Los parámetros del modelo de manera total fueron: $AC_{\infty}=18.07$ cm, $k=0.15$ cm año⁻¹ y $t_0=-2.62$ años (Fig. 22). Al estimar el MCVB para las hembras ($n=92$) se obtuvo: $AC_{\infty}=18.33$ cm, $k=0.15$ cm año⁻¹ y $t_0=-2.83$ años y para los machos ($n=147$): $AC_{\infty}=18.13$ cm, $k=0.14$ cm año⁻¹ y $t_0=-2.88$ años, siendo muy similares entre sí, quedando de manifiesto lo anterior al colocar las gráficas de crecimiento de los dos sexos en la misma figura, debido a que no se aprecian diferencias en el patrón de crecimiento (Fig. 23).

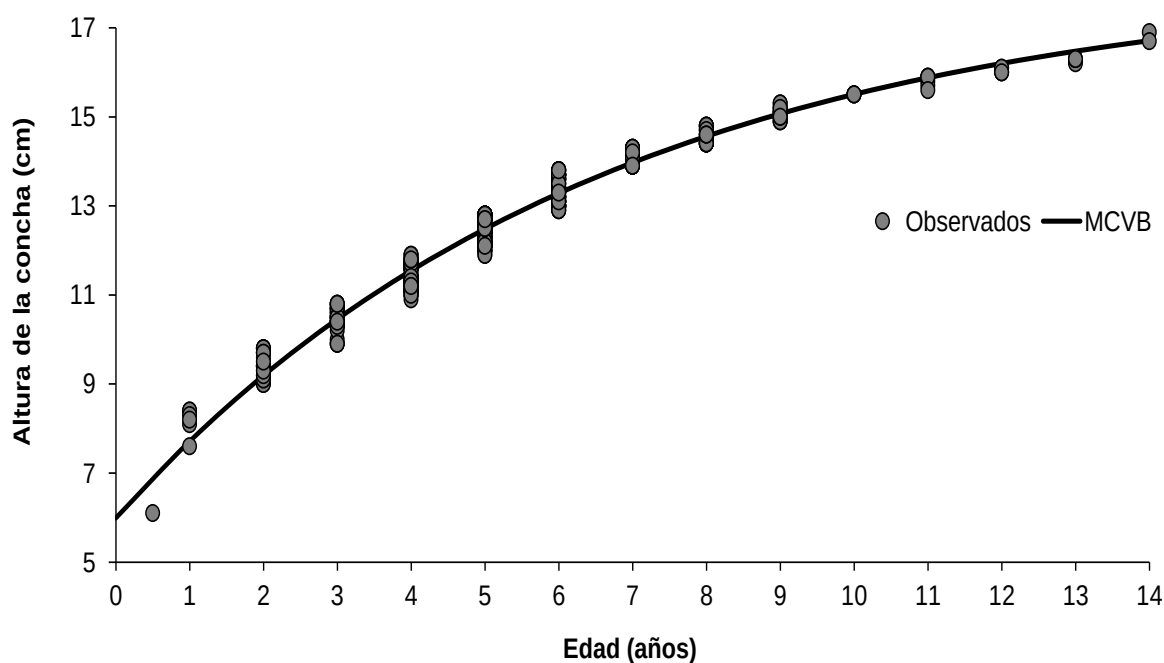


Figura 22. Talla a la edad y el modelo de crecimiento de von Bertalanffy (MCVB), de *S. calcifer* en la zona centro occidental del Golfo de California.

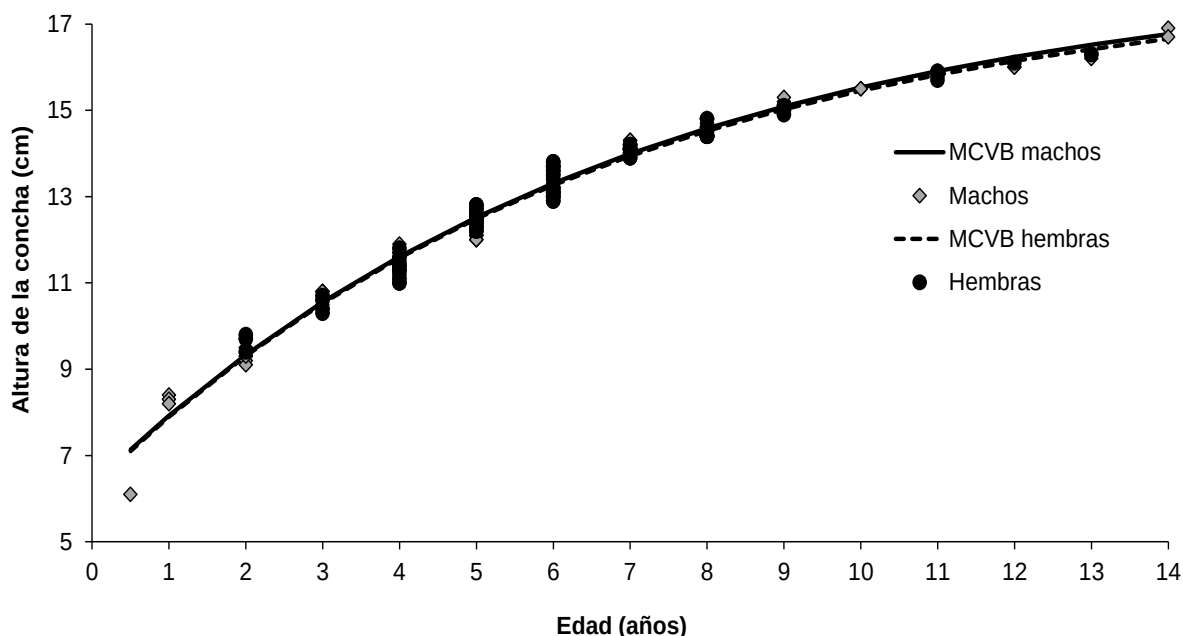


Figura 23. Talla a la edad y modelo de crecimiento de von Bertalanffy (MCVB) para machos y hembras de *S. calcefer* en la zona centro occidental del Golfo de California.

9.14 Talla y edad de reclutamiento a la reproducción

Para estimar la talla y edad de reclutamiento a la reproducción se utilizó la frecuencia relativa acumulada, correspondiente al 50% de los organismos maduros, desove y posdesove ajustando el modelo logístico a los datos. Los machos más pequeños en madurez, desove y posdesove presentaron tallas poco mayores de 8 cm AC, mientras que las hembras más pequeñas tuvieron tallas cercanas a 10 cm AC. De acuerdo al modelo logístico las hembras presentaron una talla $AC_{50}=12.82$ cm AC y los machos $AC_{50}=12.59$ cm AC. Cuando los organismos alcanzaron más de 14 cm AC, el 90% de la muestra se encontró en madurez, desove y posdesove, tanto para hembras como para machos (Fig. 24).

La edad de reclutamiento a la reproducción (t_{50}), para machos y hembras fue de 5 años (Fig. 23), sin embargo se detectaron machos y hembras en desove desde el segundo año de vida. El 90% de las hembras en la muestra se encontraron en madurez, desove y posdesove a los 7.5 años y los machos a los 8 años. (Fig. 25).

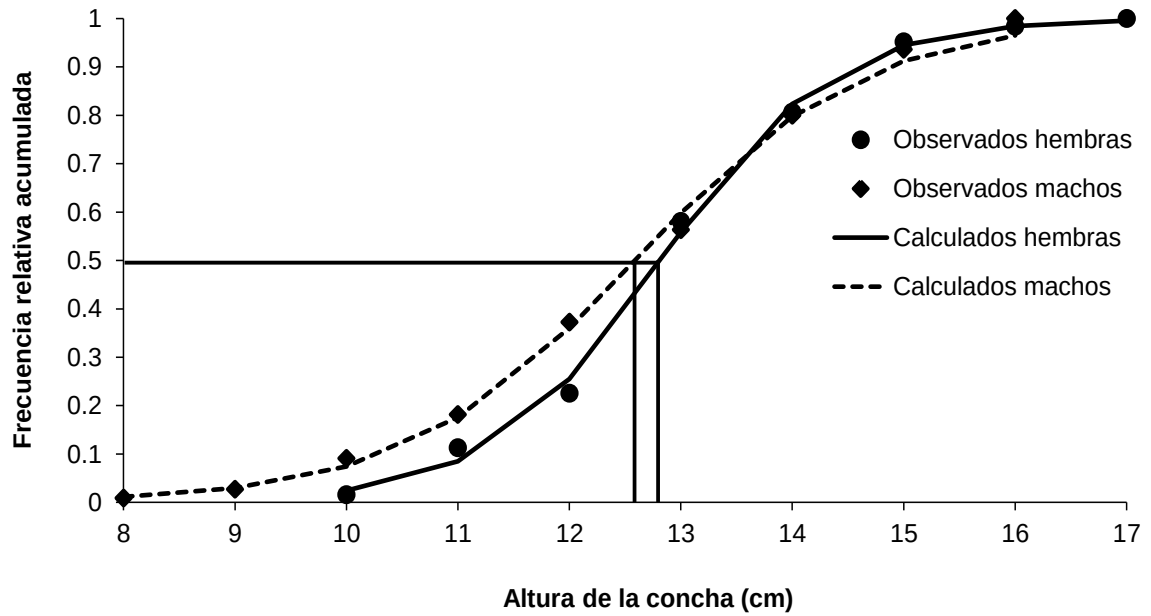


Figura 24. Talla de reclutamiento a la reproducción de hembras y machos de *S. calcifer* en la zona centro occidental del Golfo de California.

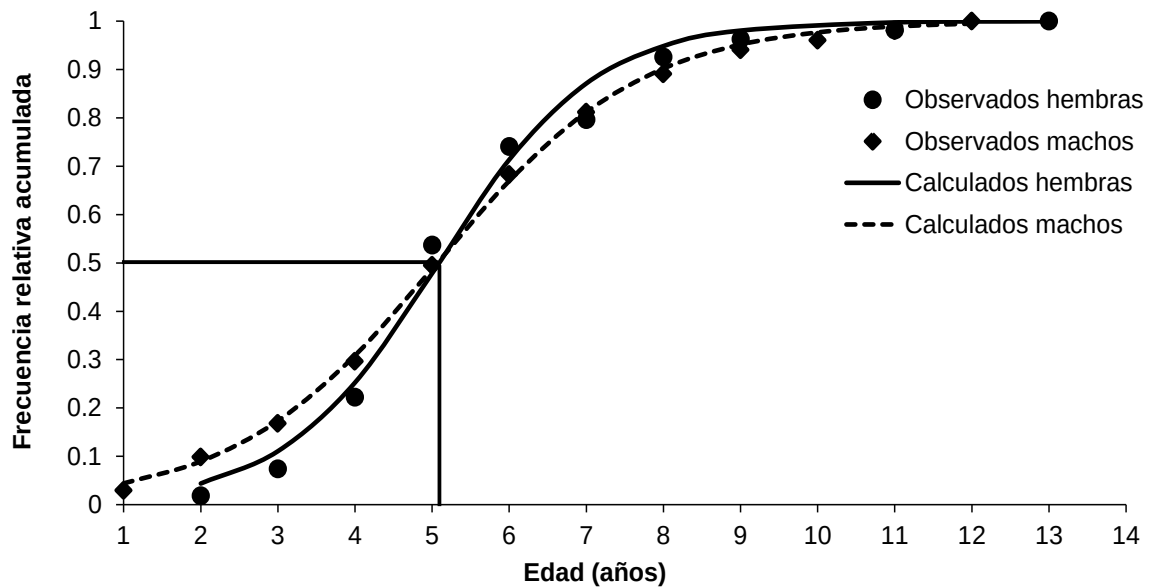


Figura 25. Edad de reclutamiento a la reproducción de hembras y machos de *S. calcifer* en la zona centro occidental del Golfo de California.

9.15 Relación entre la reproducción y el crecimiento con la temperatura

La temperatura superficial del mar (TSM) más baja registrada en Agua Verde, B.C.S., se presentó en febrero (18.5 °C), aumentando paulatinamente a partir de marzo (19.4 °C), con la máxima en septiembre (29.2 °C), para descender a partir de octubre (Fig. 26).

Para analizar la relación entre la época reproductiva, con el crecimiento y la TSM, la primera se definió agrupando el porcentaje mensual de individuos en estadios de madurez, desove y posdesove. Se encontró que la época reproductiva (agosto-octubre) tiene una relación directa y significativa con la TSM ($R_s=0.70$), coincidiendo el pico reproductivo con el máximo de temperaturas para la zona (Fig. 26).

La época reproductiva definida en el presente estudio se correlacionó significativamente con el mayor porcentaje de organismos con borde oscuro ($R_s=0.90$), de esta manera la reproducción de *S. calcifer* en la parte centro occidental del Golfo de California coincide con la época de formación de las bandas de crecimiento oscuras (Fig. 26).

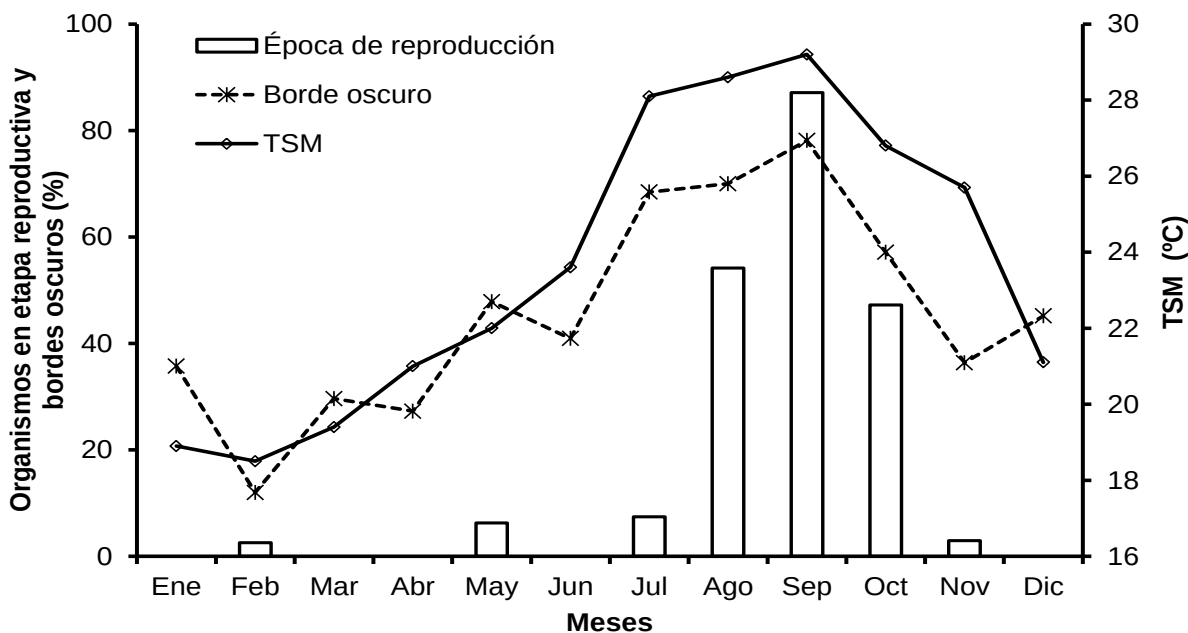


Figura 26. Relación entre la época de reproducción y el crecimiento de *S. calcifer* con la temperatura superficial del mar (TSM) en la zona centro occidental del Golfo de California.

Al estimar la tasa de crecimiento anual promedio sin considerar el sexo de los organismos, se encontró que *S. calcifer* durante el primer año alcanza el 43% de la longitud máxima promedio (7.7 cm AC), y la edad de reclutamiento a la reproducción (5 años) con el 68.8% de AC_{∞} , con una tasa de crecimiento de 0.9 cm AC/año.

En la tabla 2 se presentan los valores de la tasa de crecimiento anual promedio y el porcentaje de la AC_{∞} por grupo de edad, para machos hembras y agrupados, se puede observar que no hay diferencias en estos valores entre machos y hembras.

Tabla 2. Tasa de crecimiento anual promedio y porcentaje de la AC_{∞} por grupo de edad para machos hembras de *S. calcifer*, sin considerar el sexo de los organismos (Todos).

Edad (años)	Tasa de crecimiento (cm/año)			Porcentaje de la AC_{∞}		
	Todos	Machos	Hembras	Todos	Machos	Hembras
1	7.7	7.9	7.9	42.5	43.2	43.5
2	1.5	1.4	1.4	50.7	50.9	51.4
3	1.3	1.2	1.2	57.7	57.6	58.1
4	1.1	1.1	1.1	63.7	63.4	63.9
5	0.9	0.9	0.9	68.8	68.3	68.9
6	0.8	0.8	0.8	73.2	72.6	73.2
7	0.7	0.7	0.7	77.0	76.3	76.9
8	0.6	0.6	0.6	80.3	79.5	80.1
9	0.5	0.5	0.5	83.1	82.3	82.9
10	0.4	0.4	0.4	85.5	84.7	85.2
11	0.4	0.4	0.4	87.5	86.8	87.3
12	0.3	0.3	0.3	89.3	88.6	89.0
13	0.3	0.3	0.3	90.8	90.1	90.5
14	0.2	0.2	0.2	92.1	91.5	91.9

10. DISCUSIÓN

10.1 Estructura de tallas

Las talla estimadas de *S. calcifer* obtenida en el presente estudio osciló entre 4.3-16.9 cm AC, lo cual es similar a lo obtenido por Villalejo-Fuerte & Muñetón-Gómez (2002) en Isla Danzante, B.C.S., (4.0-17.0 cm AC). Sin embargo este intervalo es un poco mayor al reportado por Villalejo-Fuerte *et al.* (2002) que va de 7.01-16.52 cm AC en el Parque Marino Nacional “Bahía de Loreto” y por Cudney-Bueno & Rowell (2008) en el Alto Golfo de California (5.14-16.07 cm AC), estos últimos recolectaron un ejemplar de 18.8 cm AC. Estas diferencias en las tallas puede deberse al muestreo, ya que su tamaño dependerá de la profundidad a la que se encuentren.

Se han reportado tallas para *S. princeps* en Isla Cedros y Punta Eugenia de 4.5-14.2 cm AC por Villalejo *et al.* (2005) y para *S. leucacanthus* en Isla Danzante, B.C.S., los intervalos fueron de 3-12 cm AC (Villalejo-Fuerte & García-Domínguez, 1998) siendo *S. calcifer* la especie más grande del género *Spondylus* en el Pacífico Mexicano (Villalejo-Fuerte & Muñetón-Gómez, 2002).

La escasa presencia de organismos en tallas menores a 8 cm AC puede deberse al método de muestreo debido a que en este intervalo de tallas son difíciles de encontrar, debido a que los epibiontes en su concha los mimetizan con el sustrato. Los organismos mayores a 15 cm AC también fueron muy escasos (abril, mayo, junio, septiembre y noviembre), relacionándose al muestreo, debido a que en profundidades mayores es más difícil su obtención por medio de buceo autónomo, incrementándose los organismos más grandes al aumentar la profundidad. La mayor presencia de organismos “viejos” a mayor profundidad fue observada por Katsanevakis (2005) para *Pecten Jacobaeus*, asociándola a la mortalidad por pesca, pues a menor profundidad los organismos son más accesibles al buceo por parte de los pescadores, lo cual puede estar sucediendo en Agua Verde, B.C.S., que si bien la almeja burra no es pescada comercialmente, existe una pesca de subsistencia.

10.2 Fases de desarrollo gonádico

Las fases de desarrollo gonádico encontradas para *S. calcifer* en Agua Verde B.C.S., coinciden con las reportadas para la misma especie por Villalejo-Fuerte *et al.* (2002) en Bahía Loreto, estas semejanzas en las fases de desarrollo pueden deberse a que en estas áreas presentan condiciones ambientales similares debido a su cercanía. Los resultados del presente estudio difieren a los encontradas por Cudney-Bueno & Rowell (2008) en el Alto Golfo de California, donde únicamente establecen dos fases de desarrollo (actividad sexual e inmaduros) para *S. calcifer* basándose en observaciones macroscópicas de la gónada, a diferencia del presente estudio donde se establecieron las etapas de desarrollo gonádico a través de la técnica histológica. Villalejo-Fuerte & Ochoa-Báez (1993), Hernández-Olalde (2003), García-Domínguez *et al.* (2008) y Ángel-Dapa (2010) caracterizaron de manera similar la gametogénesis, con las etapas de desarrollo, madurez, desove, posdesove e indiferenciados. En otros bivalvos como la almeja mano de león *Nodipecten subnodosus* en Bahía Los Ángeles, B.C., Yee-Duarte (2009) y Camacho-Mondragón (2009) en la Ensenada de La Paz para el hacha china, *Atrina maura*, no reportaron la etapa de inactividad (indiferenciación) reproductiva debido a que se presentó una continua producción de gametos y esto lo relacionaron con la alta productividad primaria que se presentó durante todo el año, resultando favorable para la reproducción.

10.3 Ciclo reproductivo

Derivado del análisis histológico se encontró que *S. calcifer* presenta su etapa reproductiva de agosto a octubre, este periodo es similar a lo reportado para la misma especie por Villalejo-Fuerte *et al.* (2002), para *S. leucacanthus* (Villalejo-Fuerte & García Domínguez, 1998) y para *S. princeps* por Villalejo *et al.* (2005). Estas similitudes pueden ser debidas a que los organismos se desarrollan en áreas cercanas a nuestra zona de estudio y utilizan la misma estrategia reproductiva.

Cudney-Bueno & Rowell (2008) en la parte norte del Golfo de California encuentran para *S. calcifer* la época reproductiva de julio a agosto, seguido del posdesove en septiembre, esto se reflejó en la reducción de la talla del músculo aductor. Si bien nuestros resultados difieren de lo anterior pudiera deberse más a los métodos para estimar el ciclo reproductivo, pues estos autores utilizan una escala de madurez con solo dos estadios presencia de actividad sexual e inmaduros, por lo que sus resultados no son tan precisos, y debido a eso se estaría subestimando la duración del desove.

Se ha asociado el desove de los moluscos a diversos factores exógenos (Verdonk & Van de Biggelaar, 1984). En *S. leucacanthus* se asoció la madurez de la población con los picos de abundancia de fitoplancton, ya que este proporciona sustancias nutritivas necesarias para la maduración final de los ovocitos en la gónada (Muñetón-Gómez *et al.*, 2001). Otros factores que pueden influir en la reproducción es el fotoperiodo debido a que tiene un efecto sincronizador en la gametogénesis y la maduración, como se reportó para *A. circularis* (Villalejo-Fuerte & Ochoa Báez, 1993).

10.4 Proporción de sexos

En bivalvos gonocóricos, la proporción de sexos es aproximadamente 1:1, donde las hembras son ligeramente más numerosas que los machos (Verdonk & Van de Biggelaar, 1984). Lo anterior ha sido reportado para *S. calcifer* en la parte central por Villalejo-Fuerte *et al.* (2002) y el norte del Golfo de California (Cudney-Bueno & Rowell, 2008).

En la presente investigación, los machos fueron significativamente más abundantes que las hembras, similar a lo encontrado por Mackensen *et al.* (2011) para *S. calcifer* en Ayangue, Ecuador (54 machos y 44 hembras; 1.22M: 1H). Lo cual puede ser atribuido al muestreo, a la mortalidad natural o por pesca que afecta de manera diferencial a las hembras. Otra explicación pudiera ser que los machos se diferencien antes que las hembras en el inicio de la temporada reproductiva, como

fue sugerido por Cudney-Bueno & Rowell (2008) quienes detectan una mayor presencia de machos en abril-mayo

Aunque *S. calcifer* es considerada una especie gonocórica, es necesario resaltar que en el presente trabajo se detectaron dos organismos hermafroditas durante el mes de abril, siendo el primer reporte de hermafroditismo en esta especie confirmado a través de cortes histológicos, sin embargo Mackensen *et al.* (2011) indican la presencia de cuatro organismos hermafroditas en Ecuador mediante la inspección visual de las gónadas. Villalejo-Fuerte & García-Domínguez (1998) para *S. leucacanthus* encontraron organismos hermafroditas sugiriendo que puede deberse a un hermafroditismo protándrico. Un caso similar fue reportado por Ángel-Pérez *et al.* (2007) para *A. maura* donde encontraron un organismo hermafrodita funcional “accidental”, es decir un individuo monoico dentro de la población de una especie típicamente dioica. A este respecto, Verdonk & Van de Biggelaar (1984) mencionan que en algunas especies de bivalvos, ocasionalmente se encuentran individuos hermafroditas, esto no implica que las especies dejen de ser consideradas gonocóricas. Otros autores como Romo-Piñera *et al.* (2009) para *Megapitaria squalida* en Bahía de La Paz y Bahía Magdalena encontraron hermafroditismo accidental, comentan que esto es muy común en los pelecípodos y atribuyen la alta incidencia de hermafroditismo a la disminución en la densidad y abundancia como resultado de la sobreexplotación.

10.5 Estructura de tallas por sexo

El intervalo de tallas analizado para hembras de *S. calcifer*, fue de 9.4-16.3 cm AC, y en machos de 6.1-16.9 cm AC y no se encontraron diferencias a través de la estructura de tallas debidas al sexo. Estos intervalos de tallas fueron menores a los reportados por Villalejo-Fuerte & García-Domínguez (1998) para *S. leucacanthus*, quienes encontraron tallas de hembras que van de 5.5 y 12 cm AC, machos de 3-12 cm AC y organismos hermafroditas de 5.5-10.5 cm AC y sugieren que estas tallas menores de los machos pudiera deberse a que los organismos son considerados hermafroditas protándricos.

10.6 Lectura de las marcas de crecimiento

En muchos bivalvos, la estimación de la edad se basa en la observación de las marcas de crecimiento en la parte externa de la concha, en el caso de *S. calcifer* esto no es posible debido a la gran cantidad de organismos epibiontes que habitan sobre ella. La observación de las marcas de crecimiento sobre el eje mayor de las conchas de *S. calcifer*, fue difícil, debido a las perforaciones ocasionadas por organismos epibiontes (esponjas, gusanos, balanos, bivalvos, etc.), sobre todo en los individuos más grandes. Cudney-Bueno & Rowley (2008) mencionan que el daño en la concha de *S. calcifer* (y por ende la subestimación de la edad) es mayor en la parte más antigua de las valvas. Debido a lo anterior, se buscó una región alternativa para estimar la edad. Cerrato *et al.* (1991) utilizaron áreas diferentes al eje de crecimiento de la concha de *M. arenaria* para estimar la edad y determinaron que el condróforo (estructura asociada al umbo) es una región útil para este objetivo. De igual manera, Dalgic *et al.* (2009) encontraron para la almeja *Chamelea gallina* la presencia de bandas de crecimiento en la región del umbo. En el presente estudio se observaron las marcas de crecimiento en la región del umbo y en el diente de la charnela, siendo ésta última zona donde tuvieron una apreciación mejor, pues se ven menos afectadas por los organismos incrustantes y también la coincidencia entre los lectores fue mayor. El número de marcas en una región y otra debe de ser el mismo, lo cual fue evaluado por Cardoso *et al.* (2007), quienes estimaron el número de anillos de crecimiento en dos regiones de la concha del bivalvo *Spisula subtruncata* y no encuentran diferencias entre ellas.

10.7 Periodicidad de formación de las marcas de crecimiento

El depósito de las marcas de crecimiento se ve afectado por el metabolismo, la alimentación, la reproducción, la temperatura, entre otros, por lo que es posible asociar las marcas temporales a eventos particulares, como un cambio de hábitat, el fenómeno de El Niño, etc. (Dalgic *et al.*, 2009). Estos autores mencionan que la formación de la banda oscura (más densa) se asocia a periodos de rápido

crecimiento y la banda blanca (menos densa) a períodos de lento crecimiento y con períodos de reproducción.

De acuerdo a los resultados del porcentaje mensual de conchas con borde blanco, esta banda se forma en invierno-primavera y la banda oscura durante el verano-otoño. Cudney-Bueno & Rowell (2008) utilizando los perfiles de isótopos estables de oxígeno del material calcáreo de las conchas de *S. calcifer* en el Alto Golfo de California, así como con datos de marcado y recaptura establecen que la banda blanca se forma en invierno-primavera y la oscura en verano-otoño. Ambos resultados indican que la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento es anual. A pesar de que la utilidad del método utilizado en nuestra investigación (porcentaje de bordes) ha sido cuestionado por Campana (2001), nuestros resultados coinciden con uno de los métodos más robustos como es el análisis de isótopos estables de oxígeno (Cudney-Bueno & Rowley, 2008), confirmando con esto su validez. Además para muchas especies de bivalvos que habitan en aguas templadas se ha establecido la periodicidad anual de las marcas de crecimiento (e.g. *Mya arenaria*, Cerrato, 1991; *Panopea abbreviata*, Morsan & Ciocco, 2004; *Chamelea gallina*, Dalgic *et al.*, 2009; *P. generosa*, Calderón-Aguilera *et al.*, 2010).

10.8 Estructura de edad

A los organismos con menos de una marca de crecimiento se les asignó una edad de 0.5 años, considerando que pertenecen al reclutamiento asociado al evento reproductivo de la temporada previa (agosto-octubre), colectándose a principios de año (enero y marzo). Después de haber realizado las lecturas en las conchas se encontró un total de 15 grupos de edad, la edad máxima encontrada fue de 14 años y la mínima de 0.5 años en todo el ciclo de muestreo. De acuerdo a nuestros resultados se puede considerar a *S. calcifer* como una especie de longevidad media.

Nuestros resultados difieren de los reportados por Cudney-Bueno & Rowley (2008) para el norte del Golfo de California, ya que ellos reportan edades de entre 2.5-10 años con 6.8 cm AC y 16.1 cm AC respectivamente, aunque mencionan que

la longevidad debe ser de cuando menos 12 años, siendo uno de los individuos de 10 años presentó horadaciones en las últimas marcas, por lo que no fue posible distinguirlas todas. Es necesario precisar que ellos solo analizan ocho muestras para estimar la edad, con variaciones muy amplias en la talla a la edad. Si bien la estructura de edades de Cudney-Bueno & Rowley (2008) es diferente a la del presente estudio, la longevidad estimada es similar entre los trabajos (12 y 14 años respectivamente).

Las diferencias en la estructura de edades entre machos (0.5 a 14 años) y hembras (2 a 13 años) no fueron significativas. Existen gran cantidad de trabajos donde se aborda el tema de la edad en moluscos (e.g. Morsan & Ciocco, 2004; Cardoso *et al.*, 2007; Dalgic *et al.*, 2009; Calderón-Aguilera *et al.*, 2010), sin embargo en ninguno de ellos se estima la edad para cada uno de los sexos, asumiendo que es la misma para machos y hembras.

10.9 Crecimiento individual

Son muchos los factores que influyen en el crecimiento de los bivalvos, entre los factores exógenos se encuentran la alimentación, considerada de las más importantes, la temperatura, las mareas, profundidad del agua y densidad poblacional, mientras que dentro de los factores endógenos el genotipo y el estado fisiológico son de los más influyentes (Gosling, 2003).

Con los datos de talla a la edad se estimó el crecimiento de *S. calcifer* utilizando el modelo de von Bertalanffy, uno de los más utilizados para estimar el crecimiento en moluscos bivalvos. Las curvas de crecimiento de machos y hembras son muy similares, por lo que no se evaluaron estadísticamente las diferencias en el patrón de crecimiento. Calderón-Aguilera *et al.* (2010) no encuentran diferencias en el crecimiento de *P. generosa* debidas al sexo. Esto se atribuye a que en los bivalvos marinos el dimorfismo sexual está casi ausente y solo se ha detectado en el género *Transennella* y en *Mytilus edulis* (Mills & Cote, 2003).

El crecimiento de los bivalvos presenta amplias variaciones, asociadas a la historia de vida de cada una de las especies. Para *Tivela mactroides*, Arrieche & Prieto (2006) reportan que durante el primer año de vida alcanza más del 85% de la talla asintótica. Mientras que Morsan & Ciocco (2004) para *P. abbreviata* indican que alcanza entre 89-94% de su talla máxima durante los primeros 8-9 años (longevidad 40 años). Existen casos extremos como el de *P. generosa* que presenta una longevidad de 94 años, alcanzando la talla máxima alrededor de los 10 años de edad (Calderón-Aguilera *et al.*, 2010).

10.10 Talla y edad de reclutamiento a la reproducción

La talla y edad de reclutamiento a la reproducción fue de $L_{50}=12.82$ en las hembras y 12.59 en los machos y $t_{50}=5$ años para ambos sexos. El único estudio donde se reporta la L_{50} para *S. calcifer* es el de Villalejo-Fuerte *et al.* (2002) con un valor de 11.3 cm AC. Cudney-Bueno & Rowley (2008) tomando los datos de L_{50} de Villalejo-Fuerte *et al.* (2002) reportan que los organismos alcanzan su madurez sexual entre 2.5-4 años con (8.6-11.3 cm AC). Estos últimos resultados deben de ser tomados con precaución pues solo se utilizaron 4 datos para esta estimación. En otros organismos como *S. leucacanthus* la población presentó desoves a los 7.5 cm AC (Villalejo-Fuerte & García-Domínguez, 1998), estas diferencias en las tallas de desove entre especies pueden ser atribuidas a que *S. calcifer* alcanza tallas más grandes que *S. leucacanthus* y *S. princeps* (Villalejo-Fuerte *et al.*, 2002). Se ha mencionado que la talla más que la edad es la que determina la maduración gonadal en estos bivalvos (*e.g.* *S. subtruncata*, Cardoso, 2007)

En bivalvos de vida corta y rápido crecimiento como *Solen dactylus*, que habita en la costa norte del Golfo Pérsico, Saeedi *et al.* (2009) reportaron que el 50% de las almejas adquieren su talla de primera madurez (AC_{50}) al tercio de su longevidad (1-1.5 años) y con el 43% de la AC_{∞} y hacen mención que existen diversos factores ambientales como regímenes de corrientes, vientos, altas concentraciones de nutrientes (fitoplancton) que favorecen el crecimiento y la reproducción de esta especie. En otra especie *Amiantis umbonella* se encontró que

la talla de primera madurez se presenta cuando el organismo tiene el 35% de la AC_{∞} (Saeedi *et al.*, 2010). Cardoso *et al.* (2007) para *S. subtruncata* encontraron ejemplares con AC_{50} representando el 38% de la AC_{∞} , y también mencionan que la talla más que la edad es la que determina la maduración gonadal.

10.11 Relación de la reproducción y el crecimiento con la temperatura

La temperatura y la productividad primarias son los principales factores exógenos que regulan el ciclo reproductivo en bivalvos (Verdonk & Van de Biggelaar, 1984; Soria *et al.*, 2010; Mackensen *et al.*, 2011). En el presente estudio, el patrón de temperaturas encontrado en la región centro occidental del Golfo de California, coincidió con el ciclo reproductivo de *S. calcifer*, donde el desove tuvo lugar con las temperaturas más altas. Este comportamiento reproductivo parece ser común en esta especie dentro del Golfo de California, pues Villalejo-Fuerte *et al.* (2002) y Cudney-Bueno & Rowley (2008) presentan estos mismos resultados para la región central (Loreto, B.C.S. y Alto Golfo). Para otras especies como *N. subnudosus* en Laguna Ojo de Liebre, B.C.S., Arellano Martínez *et al.* (2004) encuentran relación de la reproducción con la temperatura del agua debido a que se presentó un periodo de máxima maduración en agosto cuando la temperatura del agua se encontraba más alta seguido del desove en septiembre cuando esta comenzó a declinar.

Sin embargo, Mackensen *et al.* (2011) para *S. calcifer* en Ecuador no encuentran esta relación y concluyen que más que la temperatura, la disponibilidad del alimento para las larvas es lo que modula la reproducción, lo cual ha sido observado en *Anadara tuberculosa* en Bahía Magdalena donde se observó una relación directa y significativa entre la etapa de desarrollo y la época de mayor concentración de clorofila *a* (García Domínguez *et al.*, 2008). La combinación de temperatura y disponibilidad de alimento juega un papel primordial en la reproducción como lo ha reportado Saeedi *et al.* (2009) ya que se requieren de ventanas óptimas para que ésta tenga éxito.

Al igual que con la reproducción se encontró una correlación positiva entre la TSM con la formación de la banda de crecimiento oscura. Esta banda se asocia a periodos de crecimiento rápido (Cudney-Bueno & Rowley 2008), mientras que la banda blanca se forma cuando el crecimiento está disminuido o suspendido (Goslin, 2003; Morsan & Ciocco, 2004). Cardoso *et al.* (2007) también encuentran una relación entre las marcas de crecimiento con la temperatura del agua, donde se presentó el crecimiento lento en temperaturas frías y a una baja disponibilidad de alimento y un crecimiento acelerado en primavera-verano con temperaturas altas.

La correlación entre el crecimiento individual y la reproducción de *S. calcifer* encontrada en este estudio, es común con otras especies de bivalvos. Para *Mya arenaria*, Cerrato *et al.* (1991) encuentran una estrecha relación, tanto así que denominaron a la banda oscura como banda de desove (spawning band). Sola (1997) para *Scrobicularia plana* en España encuentra el pico de desove durante el verano cuando se da el crecimiento más rápido.

11. CONCLUSIONES

S. calcifer es una especie con un ciclo reproductivo sincrónico, con la época de reproducción entre agosto y octubre.

Los machos fueron más abundantes que las hembras.

Se obtuvieron 15 grupos de edad, con una longevidad de hasta 14 años.

No se observaron diferencias en el crecimiento de machos y hembras. Los parámetros del modelo para las hembras fueron: $AC_{\infty}=18.33$ cm, $k=0.15$ cm año⁻¹ y $t_0=-2.83$ años y para machos: $AC_{\infty}=18.13$ cm, $k=0.14$ cm año⁻¹ y $t_0=-2.88$ años

La talla y edad de reclutamiento a la reproducción fue muy similar en ambos sexos.

Se encontró una relación directa entre la TSM, la formación de los bordes oscuros y la reproducción.

12. REFERENCIAS

- Ángel-Dapa, M.A. 2010. Estudio de la reproducción de la almeja mano de león *Nodipecten subnodosus* (SOWERBY, 1835) (PECTINIDAE) en un sistema de cultivo en suspensión de Bahía Tortugas, B.C.S., México. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México, 94 p.
- Ángel-Pérez, C., S.J. Serrano-Guzmán, M.A. Ahumada-Sempoal. 2007. Ciclo reproductivo del molusco *Atrina maura* (Pterioidea: Pinnidae) en un sistema lagunar costero, al sur del Pacífico tropical mexicano. *Revista de Biología Tropical*, 55(3-4): 839-852.
- Arellano-Martínez M., B.P. Ceballos-Vázquez, M. Villalejo-Fuerte, F. García-Domínguez, J.F. Elorduy-Garay, A. Esliman-Salgado & I.S. Racotta. 2004. Reproduction of the lion's paw scallop *Nodipecten subnodosus* SOWERBY 1835 (Bivalvia: Pectinidae) from Laguna Ojo de Liebre, B.C.S., México. *Journal of Shellfish Research*, 23(3): 723–729.
- Arrieche, D. & A. Prieto. 2006. Parámetros poblacionales del guacuco *Tivela mactroides* (Bivalvia: Veneridae) de playa Caicara, Estado Anzoátegui, Venezuela. *Ciencias Marinas*, 32(2): 285-296.
- Baqueiro, C.E., J.A. Masso & H.B. Guajardo. 1982. Distribución y abundancia de moluscos de importancia comercial en Baja California Sur, México. *Instituto Nacional de la Pesca, México. Serie de Divulgación*, 11: 32 p.
- Calderón-Aguilera, L.E., E.A. Aragón-Noriega, C.M. Hand & V.M. Moreno-Rivera. 2010. Morphometric relationships, age, growth, and mortality of the geoduck clam, *Panopea generosa*, along the Pacific coast of Baja California, México. *Journal of Shellfish Research*, 29(2): 319–326.
- Camacho-Mondragón. 2009. *Efecto de los fenómenos de “El niño” y “La niña” en la Reproducción del Hacha China Atrina maura (SOWERBY, 1835) (Bivalvia: Pinnidae) en la Ensenada de La Paz, B.C.S., México*. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México, 73 p.

- Campana S.E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology*, 59 197–242.
- Cardoso J.F.M.F., J. IJ. Witte & H.W. Van de Veer. 2007. Growth and reproduction of the bivalve *Spisula subtruncata* (da Costa) in Dutch coastal waters. *Journal of Sea Research*, 57 316:324.
- Cerrato, R.M., H.V.E. Wallace & K.G. Lightfoot. 1991. Tidal and Seasonal Patterns in the Chondrophore of the Soft-Shell Clam *Mya arenaria*. *Biol. Bull*, 181: 307-311.
- Coan E.V. & P. Valentich-Scott. Three nomenclatural notes on Panamic Bivalves. *The Festivus*, XL(4): 49-54.
- Cudney-Bueno, R., & K. Rowell. 2008. Establishing a baseline for management of the rock scallop, *Spondylus calcifer* (CARPENTER 1857): growth and reproduction in the upper Gulf of California, México. *Journal of Shellfish Research*, 27(4): 625-632.
- Dalgic G., I. Okumus & S. Karayücel. 2009. The effect of fishing on growth of the clam *Chamelea gallina* (Bivalvia: Veneridae) from the Turkish Black Sea coast. *Journal of the Marine Biological of the united Kingdom*, 90(2): 261-265.
- Daniels. 2002. *Bioestadística: Base para el análisis de las ciencias de la salud*. Limusa. Cuarta edición. México, D.F. 755 p.
- Diario Oficial de la Federación 1 de abril. 2002. Norma Oficial Mexicana 2001. NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, 59 p.
- García-Domínguez, A. Haro-Hernández, A. García-Cuellar, M. Villalejo-Fuerte & S. Rodríguez-Astudillo. 2008. Ciclo reproductivo de *Anadara tuberculosa* (SOWERBY, 1833) (Arcidae) en Bahía Magdalena, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 43(1): 143-152.

- Gosling, E. 2003. Bivalve Molluscs. Biology, Ecology and culture. Fishing News Book. Oxford, UK. 443 p.
- Hernández-Olalde, L. 2003. *Ciclo reproductivo de las ostra perlera Pteria sterna (GOULD, 1851) (Mollusca: Pteriidae) en Laguna Ojo de Liebre, B.C.S., México*. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México, 70 p.
- Humason, G.L. 1979. *Animal tissue techniques*. W.H. Freeman and company. 4^a ed. San Francisco. 111-129 p.
- INEGI, 1996. Estudio hidrológico del estado de Baja California Sur. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 206 p.
- Katsanevakis, S. 2005. Abundance and spatial distribution of the Mediterranean scallop, *Pecten jacobaeus*, in a marine lake. *Fisheries Research*, 76: 417-429.
- Keen, A.M. 1971. *Sea shells of tropical West America. Marine mollusk from Baja California to Perú*. Stanford University Press, Stanford, CA. 1025 p.
- Mackensen, A.K., T. Brey & S. Sonnenholzner. 2011. The fate of Spondylus stocks (Bivalvia: Spondylidae) in Ecuador: is recovery likely? *Journal of Shellfish Research*, 30(1): 115-121.
- Mills, S.C. & I. M. Cotê. 2003. Sex-related differences in growth and morphology of blue mussels. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 83(5): 1053-1057.
- Morsan, E. & N.F. Ciocco. 2004. Age and growth model for the southern geoduck, *Panopea abbreviata*, off Puerto Lobos (Patagonia, Argentina). *Fisheries Research*, 69: 343–349.
- Muñetón-Gómez M.S., M. Villalejo-Fuerte & I. Gárate-Lizárraga. 2001. Contenido estomacal de *S. leucacanthus* (Bivalvia: Spondylidae) y su relación con la temporada de reproducción y la abundancia de fitoplancton en Isla Danzante, Golfo de California. *Revista de Biología Tropical*, 49(2): 581-590.
- Navarro-Lozano J.O. 2009. *Geomorfología y procesos de sedimentación en los abanicos deltáicos recientes en la Bahía de Loreto, B.C.S., México*. Tesis de

doctorado. CICIMAR-IPN de Baja California Sur. La Paz, B.C.S., México, 142 p.

Poutiers, J.M. 1995. *Molluscos*. En: W. Fischer, F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter & V. H. Niem (Ed). (*Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca: Pacífico Centro-Oriental*), Vol. 1: Invertebrados. FAO, Roma. 646 p.

Saeedi H., S.P. Raad, A.A. Ardalan, E. Kamrani & B.H. Kiabi. 2009. Growth and reproduction of *Solen dactylus* (Bivalvia: Solenidae) on northern coast of the Persian Gulf (Iran). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 89(8): 1635-1642.

Saeedi H., A.A. Ardalan, E. Kamrani & B.H. Kiabi. 2010. Reproduction of *Amiantis umbonella* (Bivalvia: Veneridae) on northern coast of the Persian Gulf, Bandar Abbas, Iran. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 90(4): 711-718.

Sheskin, D.J. 2004. *Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures*. 3ª ed. Chapman & Hall-CRC. Boca Raton. 1776 p.

Skoglund, C. & D.K. Mulliner 1996. The genus *Spondylus* (Bivalvia: Spondylidae) of the Panamic Province. *Festivus*, 38: 93-107.

Sokal, R. & J. Rohlf, 1979. *Biometría, principios y métodos estadísticos en la investigación biológica*. H BLUME. Nueva York USA. 170-173 p.

Sola, J.C. 1997. Reproduction population dynamics, growth and reproduction of *Scrobicularia plana* Da Costa (Pelecypoda) in the Bidasoa Estuary, Spain. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 30(4): 283-296.

Soria G., J Tordecillas-Guillen, R. Cudney Bueno & W. Shaw. 2010. Spawning induction, fecundity estimation, and larval culture of *Spondylus calcifer* (CARPENTER, 1857) (Bivalvia: Spondylidae). *Journal of Shellfish Research*, 29(1): 143-149.

Villalejo-Fuerte M. & R.I. Ochoa-Báez. 1993. El ciclo reproductivo de la almeja Catarina, *Argopecten circularis* (SOWERBY, 1835), en relación con

temperatura y fotoperiodo, en Bahía Concepción, B.C.S., México. *Ciencias Marinas*, 19(2): 181-202.

Villalejo-Fuerte, M. & F. García-Domínguez. 1998. Reproductive cycle of *Spondylus leucacantus* BRODERIP, 1833 (Bivalvia: Spondylidae) at Isla Danzante, Gulf of California. *Journal of Shellfish Research*, 17(4): 1037–1042.

Villalejo-Fuerte, M., M. Arellano-Martínez, B.P. Ceballos-Vázquez F. & García-Domínguez. 2002. Reproductive cycle of *Spondylus calcifer* CARPENTER, 1857 (Bivalvia: Spondylidae) in the “Bahia de Loreto” National Park, Gulf of California, Mexico. *Journal of Shellfish Research*, 21(1): 103-108.

Villalejo-Fuerte, M. & M.S. Muñetón-Gómez. 2002. Tópicos sobre la biología de la almeja burra *Spondylus calcifer* (CARPENTER, 1857) en Isla Danzante Golfo de California. *Hidrobiológica*, 12(1): 79-87.

Villalejo-Fuerte, M., A. Tripp-Quezada & F. García-Domínguez. 2005. Variación de los índices gonádico, de rendimiento muscular y de la glándula digestiva de *Spondylus princeps* (GRAY, 1825) (Mollusca: Bivalvia) en Isla Cedros y Punta Eugenia, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 40(1): 87-90.

Verdonk N.H. & J.A.M. Van Den Biggelaar. 1984. *Reproduction* vol. 7. 357-358. En: Wilbur K.M. (Ed.) *The Mollusca*. A.S. Tompa Department of Zoology Duke University Durham, North Carolina. 486 p.

Yee-Duarte, J.A. 2009. *Reproducción de la almeja mano de león Nodipecten subnodosus*, SOWERBY 1835 en Bahía de Los Ángeles, B.C. México. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México, 73 p.

13. ANEXOS

Anexo 1. Clave edad-longitud de *S. calcifer* en la zona centro occidental del Golfo de California.

	Edad															
Altura	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Total
4.3-4.8	1															1
5.8-6.3	1															1
7.3-7.8		1														1
7.8-8.3		2														2
8.3-8.8		3														3
8.8-9.3			6													6
9.3-9.8			14													14
9.8-10.3			4	5												9
10.3-10.8				24												24
10.8-11.3				5	21											26
11.3-11.8					37											37
11.8-12.3					9	34										43
12.3-12.8						64										64
12.8-13.3						18	38									56
13.3-13.8							38									38
13.8-14.3							7	40								47
14.3-14.8								6	23							29
14.8-15.3									6	18						24
15.3-15.8										2	4	2				8
15.8-16.3												5	5	1		11
16.3-16.8														3	1	4
16.8-17.3															1	1
Total	2	6	24	34	67	116	83	46	29	20	4	7	5	4	2	449

Anexo 2. Microfotografía de un organismo hermafrodita de *S. calcifer* 20x; espermatocitos (Esp) y ovogonias (Ovo).

