



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**MADURACIÓN GONÁDICA, CICLO
REPRODUCTIVO Y TALLA DE MADUREZ
SEXUAL DEL QUITÓN *Chiton (Chiton) articulatus*
(MOLLUSCA: POLYPLACOPHORA) DE LA COSTA
ROCOSA DE PUERTO ÁNGEL, OAXACA, MÉXICO**

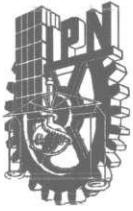
TESIS

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

PRESENTA

QUETZALLI YASU ABADIA CHANONA

LA PAZ, B.C.S., JULIO 2015



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 18 del mes de Junio del 2015 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:

"MADURACIÓN GONÁDICA, CICLO REPRODUCTIVO Y TALLA DE MADUREZ SEXUAL DEL QUITÓN

Chiton (Chiton) articulatus (Mollusca: Polyplacophora) DE LA COSTA ROCOSA DE PUERTO ÁNGEL, OAXACA, MÉXICO"

Presentada por el alumno:

ABADÍA

Apellido paterno

CHANONA

materno

QUETZALLI YASÚ

nombre(s)

Con registro:

B	1	3	0	8	4	9
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

LA COMISION REVISORA

Directores de Tesis

DR. MARCIAL ARELLANO MARTÍNEZ
Director de Tesis

DR. OMAR HERNÁNDO AVILA POVEDA
2º. Director de Tesis

DRA. BERTHA PATRICIA CEBALLOS VÁZQUEZ

MC. MARCIAL TRINIDAD VILLALEJO FUERTE

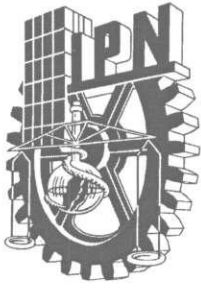
DR. XCHEL GABRIEL MORENO SÁNCHEZ

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DR. 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 22 del mes Junio del año 2015
el (la) que suscribe BM. QUETZALLI YASÚ ABADÍA CHANONA alumno(a) del
Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS
con número de registro B130849 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
DR. MARCIAL ARELLANO MARTÍNEZ Y DR. OMAR HERNANDO AVILA POVEDA

y cede los derechos del trabajo titulado:

"MADURACIÓN GONÁDICA, CICLO REPRODUCTIVO Y TALLA DE MADUREZ SEXUAL DEL QUITÓN *Chiton*
(*Chiton*) *articulatus* (Mollusca: Polyplacophora) DE LA COSTA ROCOSA DE PUERTO ÁNGEL, OAXACA, MÉXICO"

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

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: q_yach18@yahoo.com.mx - marellam@ipn.mx - oavila@uas.edu.mx

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

BM. QUETZALLI YASÚ ABADÍA CHANONA

nombre y firma

Agradecimientos

Al Instituto Politécnico Nacional (IPN) que a través del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) hizo posible la realización de mis estudios de maestría. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), al programa Institucional de Formación de Investigadores del Instituto Politécnico Nacional (BEIFI-IPN), a la Subdirección Académica y de Investigación (Beca SAI), por los estímulos económicos proporcionados, asimismo a los proyectos SIP 20140465 otorgado a Arellano-Martínez M, al estímulo SNI-CONACYT/2012-2014 y PROFAPI2014/023 otorgado a Avila-Poveda OH, proyecto PROFAPI-UAS-2013/063 otorgado Flores-Campaña LM, y al proyecto UBACYT X 273/IBBE-CONICET-UBA otorgado a Giménez J.

Mi más profundo agradecimiento a mis directores de tesis Dr. Omar Hernando Avila Poveda y Dr. Marcial Arellano Martínez, quien con sus conocimientos, experiencia y motivación han logrado en mí el gusto por la investigación y la ciencia. Por su rectitud, esfuerzo y dedicación, por ser mi guía, por sus consejos, por creer en mí y abrirme las puertas para emprender este viaje, por su experiencia brindada, sus enseñanzas tan valiosas y sobre todo por su amistad.

Un agradecimiento especial para la Dra. Bertha Patricia Ceballos Vázquez por ser una excelente guía y ejemplo en mi formación profesional, por dedicarme su valioso tiempo y energía, por sus buenas ideas, aportaciones, críticas y comentarios. Muchas gracias doctora.

A mis revisores Dra. Bertha Patricia Ceballos Vázquez, M. en C. Marcial Trinidad Villalejo Fuerte y Dr. Xchel Moreno Sánchez, por su interés, dedicación y aportaciones al escrito de la tesis.

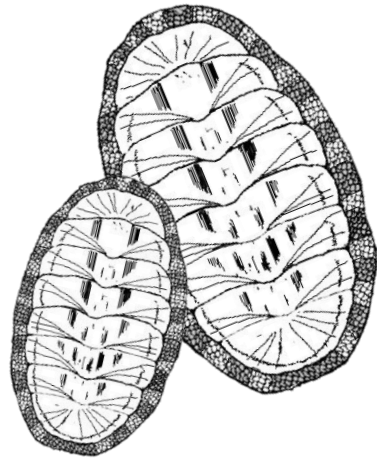
Al Laboratorio de Biología de Invertebrados Marinos (LABIM) del CICIMAR, por las facilidades otorgadas, especialmente a Alma Rosa Rivera Camacho por su disposición, consejos, asesoría y todas sus recomendaciones.

Agradezco a todos los integrantes del LABIM, a mis amigos de toda la vida (Ania, Rubén, Ana Karen, Cynthia), amigos y compañeros del CICIMAR, a Lupita Arellano Martínez, Alfonso Rodríguez Arellano y Tomás Alejandro Puebla Jarillo, a todos ellos por su apoyo en los momentos más cruciales de la tesis por compartir su amistad, cariño, conocimiento y entusiasmo.

A Humberto Ceseña Amador, César Cervando Casas Núñez, Lucía Susana Cárdenas Chávez y José Roberto Aguilera Angulo, por su apoyo, eficiencia, interés, paciencia y por facilitarme todos los trámites durante y fin de este trabajo.

Finalmente a mi apreciable familia, por su apoyo incondicional y comprensión, los amo.

*A Omar Hernando, por emprender este proyecto juntos, a mi familia y
a la naturaleza por permitirnos trabajar de ella.*



*“En la tierra hace falta personas que trabajen más y critiquen menos, que construyan más
y destruyan menos, que prometan menos y resuelvan más, que esperen recibir menos y dar más,
que digan mejor ahora que mañana”.*

Ernesto Che Guevara.

Productos derivados de la tesis

Artículo:

Abadia-Chanona QY, Avila-Poveda OH, Arellano-Martínez M, Ceballos-Vázquez BP, Flores-Campaña LM, Moreno-Sánchez XG, Ramírez-Pérez JS (2015) Talla inicial de madurez sexual (T_{im}) y/o talla de madurez sexual ($T_{m50\%}$) – Medida de manejo pesquero para el poliplacóforo *Chiton (Chiton) articulatus*: caso de estudio. *Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y la Acuicultura* 7: 389–398.

Congresos:

Abadia-Chanona QY, Avila-Poveda OH, Arellano-Martínez M (2014) Protocol for relaxation, fixation and dissection of Polyplacophora gonad for histological and morphological studies. Congreso Internacional, *5th Student Colloquium hosted by UNAM student subunit Mexico chapter of the AFS and the Western Division of the American Fisheries Society*, 7-11 abril, 2014. Mazatlán, Sinaloa, México. <http://wdafs.org/students/student-colloquium/>

Abadia-Chanona QY, Avila-Poveda OH, Arellano-Martínez M (2014) Aspectos reproductivos de una población adulta de *Chiton (Chiton) articulatus* (Mollusca: Polyplacophora) de Oaxaca, México. *XIV semana del posgrado*, 22-26 de abril, 2014. La Paz, Baja California Sur, México. <http://www.cibnor.mx/es/component/content/article/1262-rotativo-principal-b-152>

Abadia-Chanona QY, Avila-Poveda OH, Arellano-Martínez M, Flores-Campaña LM (2014) Observation and establishment of the gonad development stages in Polyplacophora: *Chiton (Chiton) articulatus*, a case study. Congreso Internacional, *Mollusca 2014- 1º reunión, El encuentro de las Américas*. 22-27 junio, 2014. Ciudad de México, México. <http://www.mollusca2014.unam.mx/>

Abadia-Chanona QY, Avila-Poveda OH, Arellano-Martínez M (2014) Periodo reproductivo de *Chiton (Chiton) articulatus* (Mollusca: Polyplacophora) de Oaxaca, México. Congreso Nacional, *V Reunión Nacional de Innovación Acuícola y Pesquera, en el marco de las*

Reuniones Nacionales de Investigación e Innovación Pecuaria, Agrícola, Forestal y Acuícola-Pesquera, 6-9 octubre, 2014. Mérida, Yucatán, México.

<http://www.reunionesnacionales.org.mx/2014/resumenes.php>

Abadia-Chanona QY, Avila-Poveda OH, Arellano-Martínez M, Ceballos-Vázquez BP, Flores-Campaña LM, Moreno-Sánchez XG, Ramírez-Pérez JS (2014) Talla inicial de madurez sexual (T_{im}) y/o talla de madurez sexual ($T_{m50\%}$) – Medida de manejo pesquero para el poliplacóforo *Chiton (Chiton) articulatus*: caso de estudio. *VII Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y la Acuicultura*, 18-21 de noviembre, 2014, Machalá, El Oro, Ecuador.

<http://www.utmachala.edu.ec/portalweb/publicacion/show/id/3166/format/html/hl/es>

Abadia-Chanona QY, Avila-Poveda OH, Arellano-Martínez M (2015) Maduración gonádica, ciclo reproductivo y talla de madurez sexual del quitón *Chiton (Chiton) articulatus* (Mollusca: Polyplacophora) de la costa rocosa de Puerto Ángel, Oaxaca, México. *XV semana del posgrado*, 11-14 de mayo, 2015. La Paz, Baja California Sur, México.

<http://148.204.122.236/semana/index.php/semanaxv/semanaxv>

Estancia de investigación:

2014. Estructura microscópica a lo largo del desarrollo del huevo de *Chiton (Chiton) articulatus* (Mollusca: Polyplacophora). Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Instituto de Biodiversidad y Biología Experimental y Aplicada, Laboratorio de Biología de Invertebrados Marinos. Supervisora Dra. Juliana Giménez, 01 septiembre – 30 octubre. Buenos Aires, Argentina.

Índice de contenido

Agradecimientos	I
Productos derivados de la tesis.....	III
Glosario	X
Resumen	XIV
Abstract	XV
1 Introducción	1
2 Antecedentes	3
2.1 Aspectos generales	3
2.2 Taxonomía y sistemática de la especie de estudio	4
2.3 Nombre común.....	5
2.4 Descripción general.....	5
2.5 Distribución geográfica.....	6
2.6 Anatomía del sistema reproductivo.....	7
2.7 Ontogenia y maduración de la gónada	9
2.8 Estructura de la gónada, desarrollo y desplazamiento de los gametos.....	9
2.9 Separación y extracción de la gónada para estudios de biología reproductiva	10
2.10 Sexualidad	11
2.11 Temporada reproductiva	11
2.12 Edad/talla de madurez sexual	12
2.13 Aspecto pesquero, comercialización y consumo.....	13
2.14 Estatus legal	16
3 Justificación.....	16
4 Objetivo general	17
4.1 Objetivos específicos.....	17
5 Material y métodos.....	18
5.1 Recolección de organismos	18
5.2 Obtención de variables ambientales	19
5.3 Morfometrías.....	19
5.4 Proceso histológico	20
5.5 Morfología del gameto femenino	21
5.6 Establecimiento de los estadios de maduración gonádica.....	22

5.7	Aspectos reproductivos	22
5.7.1	Ciclo reproductivo.....	22
5.7.2	Temporada reproductiva	22
5.7.2.1	Índice gonadosomático.....	23
5.7.2.2	Índice de madurez microscópico.....	23
5.7.3	Variables ambientales versus temporada reproductiva	24
5.8	Proporción de sexos	24
5.9	Talla de madurez sexual.....	25
6	Resultados	26
6.1	Protocolo de relajación, fijación, conservación y disección.....	26
6.1.1	Relajación.....	26
6.1.2	Fijación y conservación.....	26
6.1.3	Disección, separación y extracción de gónada	26
6.2	Método para la observación de los estadios de maduración gonádica	27
6.3	Ovogénesis	31
6.4	Descripción de los estadios de maduración gonádica	33
6.4.1	Goniogénesis (estadio I).....	33
6.4.2	Desarrollo (estadio II)	34
6.4.3	Madurez (estadio III).....	35
6.4.4	Desove (estadio IV).....	36
6.4.5	Reposo (estadio V)	37
6.5	Ciclo reproductivo.....	38
6.5.1	Hembras	38
6.5.2	Machos	39
6.5.3	Ambos sexos	40
6.6	Variación del índice gonadosomático	41
6.7	Variación del índice de madurez microscópico	41
6.8	Temporada reproductiva	41
6.9	Relación de la temporada reproductiva con las variables ambientales	43
6.10	Sexualidad y estrategia reproductiva.....	45
6.11	Proporción de sexos	45
6.12	Talla de madurez sexual.....	46
7	Discusión.....	47

7.1	Anatomía de la gónada y gametos.....	47
7.2	Ciclo reproductivo y temporada reproductiva.....	49
7.3	Sexualidad, proporción de sexos y estrategia reproductiva.....	53
7.4	Talla de madurez sexual.....	55
8	Conclusiones.....	58
9	Recomendaciones.....	59
10	Referencias.....	60
11	Anexos.....	74

Índice de figuras

Figura 1.	<i>Chiton (Chiton) articulatus</i> de Puerto Ángel, Oaxaca, México.....	2
Figura 2.	Estructura externa del quitón <i>Chiton (Chiton) articulatus</i>	6
Figura 3.	Localidades de distribución del quitón <i>Chiton (Chiton) articulatus</i>	7
Figura 4.	Estructura interna de la gónada de un quitón hembra (Modificado de Richter 1986).	8
Figura 5.	Apariencia morfológica de gónadas extraídas en fresco y fijadas.	10
Figura 6.	Collage fotográfico de la comercialización y consumo del quitón <i>Chiton (Chiton) articulatus</i> .15	
Figura 7.	Comercialización del quitón <i>Chiton (Chiton) articulatus</i> en forma de dije.	15
Figura 8.	Área de recolecta del quitón <i>Chiton (Chiton) articulatus</i>	18
Figura 9.	Forma de recolecta del quitón <i>Chiton (Chiton) articulatus</i>	19
Figura 10.	Morfometrías del quitón <i>Chiton (Chiton) articulatus</i>	20
Figura 11.	Cortes transversales de la gónada del quitón <i>Chiton (Chiton) articulatus</i>	21
Figura 12.	Proceso de disección, separación y extracción de la gónada de quitón.	27
Figura 13.	Esquema representativo de la gónada masculina de un quitón (Modificado de Sakker 1984). ...	28
Figura 14.	Secuencia esquemática de los estadios de maduración gonádica en hembras de quitón.	30
Figura 15.	Secuencia esquemática de los estadios de maduración gonádica en machos de quitón.	30
Figura 16.	Secuencia histológica del desarrollo del ovocito del quitón <i>Chiton (Chiton) articulatus</i>	32
Figura 17.	Microscopia electrónica de barrido del ovocito de quitón <i>C. (C.) articulatus</i>	32
Figura 18.	Estadio I-Goniogénesis, del quitón <i>C. (C.) articulatus</i>	33
Figura 19.	Estadio II-Desarrollo, del quitón <i>C. (C.) articulatus</i>	34
Figura 20.	Estadio III-Madurez, del quitón <i>C. (C.) articulatus</i>	35
Figura 21.	Estadio IV-Desove, del quitón <i>C. (C.) articulatus</i>	36
Figura 22.	Estadio V-Reposo, del quitón <i>C. (C.) articulatus</i>	37
Figura 23.	Ciclo reproductivo de hembras del quitón <i>Chiton (Chiton) articulatus</i> de Puerto Ángel, Oaxaca. .38	

Figura 24. Ciclo reproductivo de machos del quitón <i>Chiton (Chiton) articulatus</i> de Puerto Ángel, Oaxaca. ...39	39
Figura 25. Ciclo reproductivo para ambos sexos del quitón <i>Chiton (Chiton) articulatus</i> de Puerto Ángel, Oaxaca.40	40
Figura 26. Variación del índice gonadosomático del quitón <i>Chiton (Chiton) articulatus</i> de Puerto Ángel, Oaxaca.42	42
Figura 27. Variación del índice de madurez microscópico en <i>Chiton (Chiton) articulatus</i> de Puerto Ángel, Oaxaca.43	43
Figura 28. Relación de la temperatura superficial del mar, precipitación pluvial media mensual e irradiación con la variación de frecuencia de organismos en los estadios de madurez y desove, del quitón <i>C. (C.) articulatus</i> de Puerto Ángel, Oaxaca.....44	44
Figura 29. Esquema representativo de la talla inicial de madurez sexual (T_{im}) y talla de madurez sexual ($T_{m50\%}$) de <i>Chiton (Chiton) articulatus</i> , a lo largo de los estadios de vida.....57	57

Índice de tablas

Tabla 1. Plantilla modelo con las características más destacadas del desarrollo de las células sexuales de quitón. ...29	29
Tabla 2. Proporción de sexos mensual y total del quitón <i>Chiton (Chiton) articulatus</i> de Puerto Ángel, Oaxaca.....45	45
Tabla 3. Valores estimados de $T_{m50\%}$ para el quitón <i>C. (C.) articulatus</i> de Puerto Ángel, Oaxaca.....46	46
Tabla 4. Comparación de temporadas reproductivas (madurez-desove) del quitón <i>Chiton (Chiton) articulatus</i>50	50

Índice de anexos

Anexo 1. Preparación del fijador glutaraldehído 2.5%74	74
Anexo 2. Preparación de la resina epóxica EPON 81274	74
Anexo 3. Técnica de tinción tricrómica modificada de Crossmon's para cortes en parafina (Crossmon 1937, Gray 1954).74	74
Anexo 4. Valores de temperatura superficial del mar en °C, para la localidad de Puerto Ángel, Oaxaca.76	76
Anexo 5. Gráficos de la talla de madurez sexual para el quitón <i>C. (C.) articulatus</i> de Puerto Ángel, Oaxaca.....77	77
Anexo 6. Artículo.....79	79
Anexo 7. 5to Coloquio Anual Estudiantil. Organizado por la subunidad estudiantil de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Capítulo de la AFS y División de la Sociedad Americana de Pesca Occidental, 7-11 abril, 2014. Mazatlán, Sinaloa, México.....80	80
Anexo 8. XIV Semana del Posgrado, 22-26 de abril, 2014, La Paz, Baja California Sur, México.81	81

Anexo 9. Mollusca 2014. El encuentro de las Américas, 22-27 junio, 2014. Ciudad de México, México.....	82
Anexo 10. V Reunión Nacional de Innovación Acuícola y Pesquera, en el marco de las Reuniones Nacionales de Investigación e Innovación Pecuaria, Agrícola, Forestal y Acuícola-Pesquera, 6-9 octubre, 2014. Mérida, Yucatán, México.....	83
Anexo 11. VII Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y la Acuicultura, 18-21 de noviembre, 2014, Machalá, El Oro, Ecuador.....	84
Anexo 12. XV Semana del Posgrado, 12-14 de mayo, 2015, La Paz, Baja California Sur, México.	85
Anexo 13. 2014. Estructura microscópica a lo largo del desarrollo del huevo de <i>Chiton (Chiton) articulatus</i> (Mollusca: Polyplacophora).....	86

Glosario

Aorta: Tronco principal de las arterias que conducen a la circulación sistémica (por oposición a la pulmonar).

Ápice: Extremo o punta más alta de una estructura.

Apófisis: En las placas de los poliplacóforos (excepto la cefálica), uno de dos procesos delgados que se dirigen hacia adelante por debajo de la placa precedente.

Célula germinal: Células precursoras de gametos (óvulos o espermatozoides) en los organismos que se reproducen sexualmente.

Ciclo gametogénico: Secuencia de desarrollo y maduración repetitivos por los que pasa el gameto dentro de la gónada, como consecuencia de las variaciones en los niveles hormonales.

Ciclo gonádico: Conjunto de acontecimientos fisiológicos que se producen en la gónada (es decir, cada estadio de desarrollo gonádico), a intervalos de tiempo cíclicos.

Ciclo reproductivo: Variación temporal en las frecuencias de los organismos en los diferentes estadios de maduración gonádica.

Cinturón del manto: Funda de tegumento que se extiende desde la masa visceral y que cuelga a cada lado del cuerpo, protege las partes blandas y crea entre ellas la masa visceral, es el espacio llamado cámara paleal, o del manto. El cinturón bordea a las placas.

Diferenciación sexual: Proceso biológico, genéticamente controlado, por el que se diferencia la cresta gonadal en testículo u ovario.

Dimorfismo sexual: Características morfológicas que generalmente se aprecian a simple vista (aunque puede haber características internas) que distinguen a machos y hembras.

Dioico/gonocórico: Que presenta sexos separados: machos o hembras.

Epitelio germinal: capa epitelial que recubre la superficie interna de los folículos de la gónada, de la que derivan y desarrollan las ovogonias o espermatogonias.

Espermátida: Célula haploide masculina que resulta de la división de los espermatoцитos secundarios, como resultado de la meiosis. Cada espermátida contiene sólo la mitad del material genético presente en el espermatoцитo primario original.

Espermatogonias: Son células madre especializadas en diferenciarse para dar lugar a los espermatozoides, a través del proceso de espermatogénesis. Son células diploides, inmóviles y sin diferenciar. Se localizan en la base de los folículos de la gónada. A medida que la espermatogonia se va diferenciando, va ascendiendo hacia la luz del folículo, de manera que

una vez alcanza la región luminal, ya se encuentra en estadio de espermátida y posteriormente espermatozoide.

Espermatozoides: Células haploides, móviles y muy diferenciadas que constituye el gameto maduro masculino.

Esteto: Estructura sensorial, con un fotorreceptor que se ubica en el tegumento de las placas de los quitones, está innervada por los cordones nerviosos laterales.

Estrategia reproductiva: Es un complejo de tácticas reproductivas determinadas por el genotipo, encaminadas para la reproducción y preservación de la especie.

Folículo de la gónada: Es la estructura en forma de saco y rodeadas de tejido conjuntivo de la cual se constituye la gónada. Sus paredes están formadas por células germinales de las cuales se forman los gametos femeninos y/o masculinos.

Foliculogénesis: Proceso de formación y desarrollo del folículo que recubre y protege al ovocito durante el proceso de maduración.

Gameto: Nombre que recibe la célula reproductora haploide (madura) femenina o masculina.

Gametocito: Célula germinal a partir de la cual inicia el desarrollo y maduración de los gametos. Los gametocitos masculinos se denominan espermatozoides y los femeninos ovocitos.

Gametogénesis: Proceso de formación y maduración de gametos por medio de la meiosis a partir de células germinales. Si el proceso tiene como fin producir espermatozoides se le denomina espermatogénesis y se realiza en los testículos o testis, si el resultado son ovocitos se denomina ovogénesis y se lleva a cabo en el ovario.

Gónada difusa: gónada que se encuentra generalmente fusionada o adherida a otros órganos en particular con la glándula digestiva, por lo cual se dice que está inmersa en la cavidad visceral formando una sola estructura conocida como el tejido visceral.

Gónada discreta: gónada que se encuentra generalmente separada e individualizada de otros órganos alojados en la cavidad visceral.

Hermafrodita: Tipo de sexualidad en la cual un individuo adulto posee ambos órganos reproductivos usualmente asociados a los dos sexos: macho y hembra.

Huevo: Cuerpo redondeado de tamaño y dureza variables, que las hembras de diversos grupos de animales producen, y que sustenta y protege al embrión cuando el óvulo es fecundado, convirtiéndose así en cigoto.

Invaginación: Formación del repliegue de una membrana, capa de tejido u hoja blastodérmica que se dirige hacia el interior de una pared o cavidad.

Lumen: Cavidad dentro de la gónada, el cual va disminuyendo a medida que proliferan y crecen los gametos.

Madurez sexual: Es la edad o el momento en el cual un organismo obtiene la capacidad para llevar a cabo la reproducción, como consecuencia de la maduración de los órganos reproductivos y la producción de gametos.

Madurez: Se define como el grado o estadio de madurez de la gónada (estadios de maduración gonádica).

Mucro: punta, levantamiento en las valvas.

Ontogenia gonadal: Descripción del cambio estructural de la gónada, desde su surgimiento hasta su formación total, sin que esta pierda su organización.

Ovogonias: célula germinal femenina que representa el primer estadio evolutivo de las células sexuales femeninas, y que da lugar al ovocito, que a su vez se desarrolla en óvulo.

Pie o musculatura: Puede estar adaptado para la locomoción, para la fijación al sustrato, o para una combinación de funciones. Se trata de una estructura en forma de suela, de posición ventral, en la que la contracción muscular, permite el movimiento por reptación, pero también presenta modificaciones como puede ser el disco fijador en las lapas, el pie de hacha en bivalvos, que está comprimido lateralmente en ellos, o el sifón para la propulsión a chorro de calamares y pulpos. Frecuentemente segrega un moco, que utiliza para desplazarse como sobre una pista, o para adherirse mejor.

Proporción de sexos: Es la relación de hembras y machos en una población o grupo de organismos. Dentro de una comunidad la proporción sexual indica el potencial reproductivo de una población, también refleja el número de “rastros” de historias de vida, como son la reproducción sexual, el sistema de entrecruzamiento y la habilidad de explotar hábitats, siendo estas características afectadas por diversos factores ambientales.

Rádula: Es un órgano raspador que puede a veces extenderse hacia fuera en forma de lengua, existe en todos los moluscos a excepción de los bivalvos. Está formado por una membrana en forma de cinta, en la que se disponen filas de dientes dirigidos hacia atrás. Es movida por medio de un conjunto de músculos complejos y sus cartílagos que constituyen el odontóforo, hacia delante y hacia atrás. Puede cortar, rasgar, raspar o perforar. Al tiempo que sirve para raspar las

partículas alimenticias, sirve también para transportar las partículas en forma continua, hacia el tracto digestivo. La disposición y cantidad de dientes es propio de cada especie, y por lo tanto tiene valor taxonómico.

Reproducción: Proceso biológico que permite la creación de nuevos organismos, siendo una característica común de todas las formas de vida conocidas. Las modalidades básicas de reproducción se agrupan en dos tipos, que reciben los nombres de asexual o vegetativa y de sexual o generativa.

Talla de madurez sexual: definida en este estudio como, talla a la cual el 50% de los individuos de un stock (estadio de vida adulto) están reclutados eficientemente a la reproducción.

Talla de inicial madurez sexual (T_{im}): Desde el punto de vista de la biología del desarrollo, en los pre-adultos (*i.e.*, subjuvenil, juvenil, subadulto), se define como, talla a la cual un organismo produce por primera vez en su vida un lote de gametos maduros después de que las gónadas pasaron por el proceso de diferenciación sexual.

Temporada reproductiva: Tiempo en el cual se observa en conjunto la frecuencia más alta de organismos en estadio de madurez y desove.

Vitelo: Conjunto de sustancias nutritivas en forma de gránulos de proteína y grasas almacenadas dentro de un huevo para la nutrición de futuro embrión.

Resumen

El quitón, *Chiton (Chiton) articulatus* comúnmente conocido como “lengua de perro” o “cucaracha de mar” es recolectado como carnada para la pesca artesanal y se ofrece en restaurantes de sitios turísticos como platillo gourmet, a lo largo de la costa del Pacífico mexicano, por lo que su consumo está generando un interés económico potencialmente explotable y pesquero. Considerando a la reproducción como fundamental en la historia de vida, la importancia económica que tiene el recurso y que no cuenta con regulación en su consumo y comercialización, son necesarios los estudios de biología reproductiva para esta especie. El objetivo de este trabajo es contribuir al conocimiento básico de *C. (C.) articulatus*, en aspectos como su maduración gonádica, ciclo reproductivo, temporada reproductiva y la influencia de variables ambientales en el ciclo reproductivo, estimar la proporción de sexos y talla de madurez sexual ($T_{m50\%}$). Durante el 2011 se recolectaron mensualmente en promedio 32 quitones adultos en Puerto Ángel, Oaxaca. Se estableció una técnica para la relajación, fijación y disección de los organismos. Se tomaron morfometrías (longitud total: LT, longitud concha: LC, ancho total: AT, ancho concha: AC) y peso total (PT). Mediante análisis histológico de la gónada se describe la secuencia de maduración del gameto femenino, se propone un método para la observación y establecimiento de los estadios de maduración gonádica (EMG) y se obtuvo el ciclo reproductivo. Con el índice gonadosomático (IGS) e índice de madurez microscópico (IMMi) se caracterizó la temporada reproductiva. Se calculó la proporción de sexos. La $T_{m50\%}$ se estimó considerando las cuatro medidas morfológicas y el peso total. La gónada del *C. (C.) articulatus* produce gametos de manera sincrónica y los ovocitos maduros presentan el casco característico de los poliplacóforos. Se establecieron cinco EMG: I-goniogénesis, II-desarrollo, III-madurez, IV-desove, V-reposo. A pesar que *C. (C.) articulatus* es un desovador total y se reproduce durante todo el año, la principal temporada reproductiva (madurez y desove) ocurre en la segunda mitad de año (julio a diciembre), y coincide con la temporada de lluvias. La proporción de sexos total durante el periodo de muestreo fue de 1:1. La $T_{m50\%}$ para ambos sexos fue: 55.43 mm de LT, 50.70 mm de LC, 33.27 mm de AT, 28.06 mm de AC y 11.86 g de PT. Se sugiere realizar una observación panorámica de la gónada para el establecimiento de los estadios. Al usar distintas morfometrías para la estimación de la $T_{m50\%}$ se dan más opciones para establecer tallas mínimas de captura, además de facilitar la toma de datos en campo. Con estos resultados se contribuye al conocimiento básico de la biología reproductiva del *Chiton (Chiton) articulatus*, los cuales permiten proponer futuras medidas regulatorias (*i.e.*, temporada de veda y tallas mínimas de captura).

Citar como: Abadia-Chanona QY (2015) Maduración gonádica, ciclo reproductivo y talla de madurez sexual del quitón *Chiton (Chiton) articulatus* (Mollusca: Polyplacophora) de la costa rocosa de Puerto Ángel, Oaxaca, México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN), La Paz, México 86p.

Abstract

The chiton, *Chiton (Chiton) articulatus* commonly known as "dog tongue" or "sea cockroach" is collected as bait for artisanal fisheries and offered in restaurants like gourmet dish, along the Pacific coast of Mexico, so their consumption is generating a potentially exploitable fisheries and economic interest. Considering reproduction as fundamental in the life history, the economic importance of the resource and that does not have control in their consumption and marketing; studies on aspects of reproductive biology of this species are needed. The aim of this study is to contribute to the basic knowledge of *C. (C) articulatus* in aspects such as gonadal maturation, reproductive cycle, reproductive season and its relationship with environmental variables, sex ratio and size at maturity ($T_{m50\%}$). During 2011, 32 adult chitons were monthly collected in Puerto Angel, Oaxaca. A technique for relaxation, fixation and dissection of animals was established. Were taken body measurements (total length: LT, Shell length: LC, total width: AT, Shell width: AC) and total weight (PT). By histological analysis of the gonad the maturation sequence of the female gamete was described, a method for viewing and setting of the gonad maturation stages (GMS) is proposed, and the reproductive cycle was obtained. The reproductive season was characterized with the gonadosomatic index (GSI) and the index of microscopic maturity (IMMi). The sex ratio was calculated. The $T_{M50\%}$ were estimated considering the four measurements morphological and the body weight. The gonad of *C. (C) articulatus* produces synchronously gametes and the mature oocytes have the "hull egg" characteristic of polyplacophorans. Five gonad maturation stages (GMS) were established and described: I-goniogenesis, II-development, III-mature, IV-spawning, V-rest or recovery. Although *C. (C) articulatus* is a total spawner and it reproduce throughout all year, the main reproductive season (maturity and spawning) occurs in the second half of the year (July to December), and coincides with the rainy season. The sex ratio during the entire sampling period was 1:1. The $T_{M50\%}$ for both sexes was: LT 55.43 mm, LC 50.70 mm, AT 33.27 mm, AC 28.06 mm and PT 11.86 g. It is suggested that a panoramic observation of the gonad for the establishment of GMS. By using different morphometrics for estimating the $T_{m50\%}$ are given more options to establish minimum catch sizes, besides to facilitate data collection in the field. With these results we contribute to the basic knowledge of reproductive biology of *Chiton (Chiton) articulatus*, which allow proposing future regulatory measures (*i.e.*, closed season and minimum catch size).

Cite as: Abadia-Chanona QY (2015) Maduración gonádica, ciclo reproductivo y talla de madurez sexual del quitón *Chiton (Chiton) articulatus* (Mollusca: Polyplacophora) de la costa rocosa de Puerto Ángel, Oaxaca, México. M.Sc. Thesis. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN), La Paz, México 86p.

1 Introducción

La clase Polyplacophora del Phylum Mollusca es un antiguo linaje, que sólo se encuentra en el mar, presentan simetría bilateral no segmentada y son reconocidos por sus ocho placas “valvas” sobrepuestas y articuladas entre sí, para formar un cuerpo ovalado, alargado (antero-posterior) y aplanado dorso-ventralmente (Eernisse y Reynolds 1994, Schwabe 2010). Las placas se encuentran rodeadas o completamente cubiertas (*e.g. Cryptochiton stelleri*) por el tejido del manto, el cual es un anillo marginal de tejido (cinturón del manto) alrededor del perímetro del cuerpo (Eernisse 2007, Schwabe 2010). Este cinturón del manto está cubierto con diversas estructuras como espinas corneas o calcáreas, escamas, espinas y mechones (Schwabe 2010). La disposición de las placas así como el gran pie muscular que tienen los poliplacóforos, los convierte en “tanques de guerra” con armadura robusta y articulada para lograr un equilibrio entre la movilidad y protección (Connors *et al.* 2012). La fuerza de sus placas les permite proteger partes blandas y gracias a su pie muscular acoplarse perfectamente a superficies irregulares y duras de su hábitat (Eernisse y Reynolds 1994).

La mayor parte de las más de 900 especies reconocidas viven en el intermareal rocoso y/o en el submareal somero hasta profundidades de 2 000 m (Keen 1971). Tienen importancia ecológica ya que raspan películas de algas de las rocas, toman bocados de hojas de algas grandes, comen animales coloniales incrustantes, e incluso algunas veces llegan a comer animales móviles que se acercan lo suficiente como para ser atrapados (Eernisse y Reynolds 1994, Eernisse 2007).

El quitón, *Chiton (Chiton) articulatus* Sowerby en Broderip y Sowerby, 1832, pertenece a la clase poliplacófora y es comúnmente conocido como “lengua de perro” o “cucaracha de mar” (Figura 1), se distribuye a lo largo de la costa del Pacífico tropical mexicano y es tradicionalmente recolectado por habitantes costeros como carnada para la pesca artesanal (Holguín-Quiñones 2006, Ríos-Jara *et al.* 2006, García-Ibáñez *et al.* 2013, Olea-de-la-Cruz *et al.* 2013) y algunas veces lo usan como complemento alimenticio y de subsistencia (Barrientos-Luján y Alejo-Plata 2001, Holguín-Quiñones 2006, Flores-Campaña *et al.* 2007b, Flores-Campaña *et al.* 2012, Olea-de la Cruz *et al.* 2013).



Figura 1. *Chiton (Chiton) articulatus* de Puerto Ángel, Oaxaca, México.

En años recientes, algunos restaurantes y fondas (pequeño restaurante económico) ofrecen "lengua de perro" a los turistas como un platillo gastronómico y afrodisiaco, por lo que su consumo está generando un interés económico potencialmente explotable y pesquero a lo largo de su área de distribución (Holguín-Quñones 2006, Villegas-Maldonado *et al.* 2007, Olea-de-la-Cruz *et al.* 2011, Flores-Campaña *et al.* 2012, Flores-Garza *et al.* 2012a, García-Ibáñez *et al.* 2013, Olea-de-la-Cruz *et al.* 2013). Sin embargo, el quitón no ha sido reconocido como un "recurso pesquero" y no cuenta con ninguna regulación en cuanto a su consumo y comercialización (Olea-de-la-Cruz *et al.* 2013).

Considerando a la reproducción como fundamental en la historia de vida (Stearns 1992) y la importancia económica que tiene este recurso, los estudios en aspectos de biología reproductiva para el *C. (C.) articulatus* son escasos, lo que hace difícil proponer normas de regulación, así como su incorporación en la Carta Nacional Pesquera (Olea-de-la-Cruz *et al.* 2013) y la elaboración de un plan de manejo para esta especie.

Es por ello, que el objetivo de este estudio es contribuir al conocimiento básico de la biología reproductiva del *Chiton (Chiton) articulatus*, en aspectos como su maduración gonádica, ciclo reproductivo, temporada reproductiva y la influencia de variables ambientales, proporción de sexos y talla de madurez sexual, lo cual establecerá las bases que permitan realizar posteriores evaluaciones de las poblaciones de esta especie, y así contribuir al conocimiento clave para futuras medidas regulatorias (*i.e.*, temporada de veda y tallas mínimas de captura).

2 Antecedentes

2.1 Aspectos generales

Los poliplacóforos o también llamados quitones, son habitantes comunes de las costas rocosas marinas y pueden ser abundantes en la zona intermareal, donde habitualmente raspan las algas incrustantes y animales sésiles. Son poco conspicuos, crípticos y de hábitos nocturnos, con fototaxia negativa. Las articulaciones de las placas les permiten enroscarse, formando una bola protegida por las mismas placas.

Los quitones son organismos de fácil captura y manipulación debido a su tamaño (usualmente 1-10 cm de largo), lo que es favorable para estudios de reproducción, además que la gónada es discreta (no se encuentra inmersa con otros órganos), lo que resulta sencillo de disecar (Pearse 1979); lo anterior ha permitido realizar numerosos estudios, siendo los primeros trabajos sobre morfología y desarrollo embrionario, los realizados por Simroth (1892-1894), Plate (Plate 1898, 1902a, 1902b), Hoffmann (1931), Yakovleva (1952), Fischer-Piette y Franc (1960), y Hyman (1967), sobre ciclos reproductivos en diferentes especies de quitones como *Katherina tunicata* (Giese *et al.* 1959, Himmelman 1978), *Mopalia hindsii* (Giese *et al.* 1959), *Chiton granoradiatus* (Murti y Nagabhushanam 1968), *Acanthopleura haddoni*, *Onithochiton lyelli* (Pearse 1978), *Tonicella lineata*, *T. insignis* (Himmelman 1979), *Chiton Chiton iatricus* (Nagabhushanam y Deshpande 1982), *Lepodochitona dentiens*, *L. hartwegii*, *L. berryana*, *L. thomasi*, *L. caverna*, *L. fernaldi* (Eernisse 1988), *Liolophura (L.) gaimardi*, *Cryptoplax mystica*, *Ischnochiton (I.) australis* (Currie 1990), estudios sobre el desarrollo larval en quitones del género *Amphineura* (Smith 1966), y para la especie *Chiton granoradiatus* (Nagabhushanam y Murti 1968), también sobre las interrelaciones entre los ovocitos en desarrollo y el tejido ovárico (Selwood 1968, Richter y Götting 1974, Richter 1986) y el papel de las células del folículo durante la ovogénesis en las especies *Mopalia mucosa*, *Chaetopleura apiculata* (Anderson 1969) y *Sypharochiton septentriones* (Selwood 1970), y estudios sobre densidad, mortalidad, alimentación, reproducción y crecimiento (Glynn 1970), por mencionar algunos.

A pesar de existir numerosos estudios de quitones a nivel mundial, en México una de las especies en la que se han efectuado un mayor número de estudios biológicos es *C. (C.) articulatus*, principalmente por su gran tamaño comparado con otras especies de quitones mexicanas y por la importancia económica que representa. Sin embargo, los trabajos se limitan

a listados de composición faunística y taxonómica (Poutiers 1995, Reyes-Gómez 1999, León-Herrera 2000, Reyes-Gómez y Salcedo-Vargas 2001, 2002, Reyes-Gómez 2004, Reyes-Gómez *et al.* 2010), a evaluar la estructura de tallas, poblacional y de comunidades (Rojas-Herrera 1988, Flores-Rodríguez 2004, Flores-Campaña *et al.* 2007a, Villegas-Maldonado *et al.* 2007, León-Herrera *et al.* 2009, García-Ibáñez *et al.* 2012b, Bernabé-Moreno *et al.* 2015, Ramírez *et al.* 2015, Valencia-Santana *et al.* 2015), de distribución geográfica y diversidad (Holguín-Quiñones y Michel-Morfín 2002, Flores-Campaña *et al.* 2007b, García-Ibáñez *et al.* 2012a), a promover el consumo como una fuente alimenticia debido al aporte nutricional (Ríos-Jara *et al.* 2006, Melo *et al.* 2011), a evaluar su captura (Rojas-Herrera 1988, Galeana-Rebolledo *et al.* 2007), aprovechamiento y usos (Ríos-Jara *et al.* 2006, García-Ibáñez *et al.* 2009, Olea-de-la-Cruz *et al.* 2011), así como su potencial pesquero (Holguín-Quiñones 2006, Flores-Campaña *et al.* 2012, García-Ibáñez *et al.* 2013, Olea-de-la-Cruz *et al.* 2013).

No obstante, en los últimos años se han realizado estudios sobre su biología reproductiva, donde se ha descrito el surgimiento, desarrollo y madurez de la gónada, a través de las etapas de vida temprana (Avila-Poveda y Abadia-Chanona 2013), sobre el cambio anual en la morfometría y en los índices somáticos y reproductivos (Avila-Poveda 2013), y sobre el ciclo reproductivo y temporada reproductiva (Rojas-Herrera 1988; Ramírez-Álvarez 2013).

2.2 Taxonomía y sistemática de la especie de estudio

La siguiente clasificación taxonómica es considerada la más actual para la especie *Chiton* (*Chiton*) *articulatus* (Schwabe 2015).

Reino: Animalia

Filo: Mollusca

Clase: Polyplacophora Gray, 1821

Subclase: Neoloricata Berghenayn, 1955

Orden: Chitonida Thiele, 1909

Suborden: Chitonina Thiele, 1909

Superfamilia: Chitonoidea Rafinesque, 1815

Familia: Chitonidae Rafinesque, 1815

Subfamilia: Chitoninae Rafinesque, 1815

Género: *Chiton* Linnaeus, 1758

Subgénero: *Chiton (Chiton)* Linnaeus, 1758

Chiton (Chiton) articulatus Sowerby en Broderip y Sowerby, 1832

2.3 Nombre común

Chiton (Chiton) articulatus Sowerby en Broderip y Sowerby, 1832 es comúnmente llamado “cucaracha de mar” en los estados de Sinaloa, Nayarit y Jalisco, debido a su coloración y aspecto, mientras que en Michoacán, Guerrero y Oaxaca se conoce como “lengua de perro” por la forma que presenta el pie.

2.4 Descripción general

Ventralmente, los quitones cuentan con una cabeza con apertura bucal en el centro y separada de un solo pie muscular, que es grande y carnoso (Eernisse y Reynolds 1994). Presentan varias branquias (más de 60 branquias que varían entre especies) alojadas en el surco del manto (entre el cinturón del manto y el pie), que se desprenden bordeando esta cavidad (Eernisse y Reynolds 1994, Schwabe 2010). Cuentan con una rádula, la cual se localiza en la base de la boca (presente en los moluscos con la excepción de los representantes de las clases Bivalvia y los Scaphopoda). La rádula es una estructura constituida por una cinta con hileras longitudinales de pequeños dientes quitinosos y compuestos por magnetita; esta estructura es utilizada para raspar el alimento del sustrato rocoso (Eernisse y Reynolds 1994, Schwabe 2010). La arquitectura corporal de los quitones les ha permitido adaptarse a los ambientes mareales y submareales rocosos (Eernisse y Reynolds 1994, Eernisse 2007, Eernisse *et al.* 2007).

El quitón *Chiton (Chiton) articulatus* presenta cuerpo ovalado, alcanza 104 mm de longitud y 59 mm de ancho incluyendo el cinturón. El color es verde olivo a marrón verdoso, especialmente en las zonas laterales donde se diferencia una banda periférica oscura hacia los bordes externos del cuerpo (Figura 2). El ángulo de las placas es de aproximadamente 105°. Las placas cefálica y anal pueden presentar bandas delgadas de coloración beige o marrón claro, son radiales con respecto al ápice y mucro (Bullock 1988).

El tegumento en general es liso, con líneas de crecimiento evidentes; la placa cefálica (I) ventral presenta 17 hendiduras en la zona de inserción, con dientes serrados, prolongados y de tamaños variables. Las placas intermedias (II-VII) ventrales presentan una hendidura de

inserción a cada lado de la placa con dientes pectinados o dentados. La apófisis es prolongada y bien desarrollada, seno yugal mediano y placa yugal dentada (Bullock 1988).

La superficie ventral presenta coloraciones verdosas, especialmente hacia la base de las apófisis. El pliegue periostracal es muy angosto. En vista dorsal las áreas laterales son ligeramente elevadas. La placa anal (VIII) ventral presenta 22 hendiduras en la placa de inserción, con dientes amplios y serrados, el mucro se encuentra situado anteriormente; seno yugal amplio y placa yugal dentada, apófisis anchas y poco elevadas. El cinturón del manto se encuentra cubierto por escamas más o menos circulares traslapadas entre sí que forman franjas verdes longitudinales de dos tonalidades diferentes, una más clara que la otra (Bullock 1988).

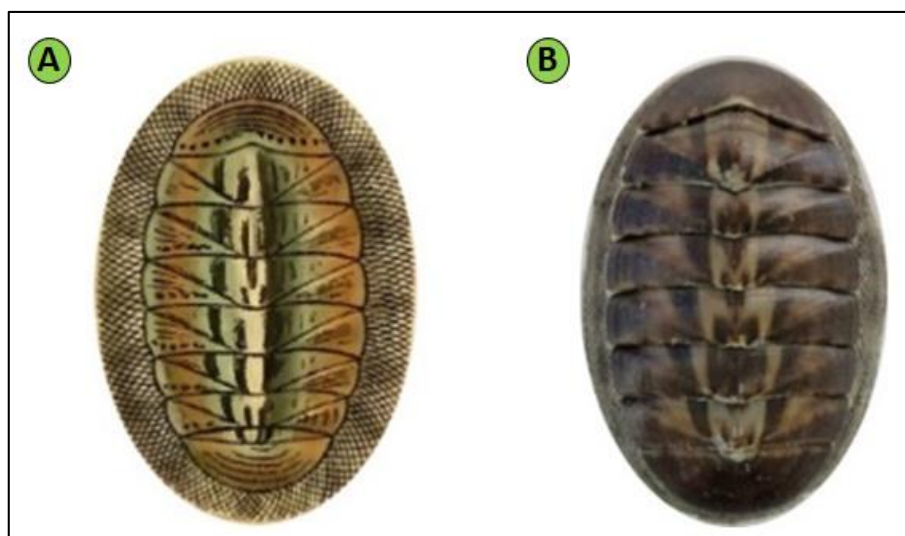


Figura 2. Estructura externa del quitón *Chiton (Chiton) articulatus*.

A-Primera imagen hecha a mano (Tomado de Clessin 1904) y B-fotografía tomada después del proceso de fijación, ejemplar recolectado en Puerto Ángel, Oaxaca.

2.5 Distribución geográfica

C. C. articulatus se distribuye en el intermareal rocoso, desde el sur de Sinaloa hasta Oaxaca, con un reporte reciente en La Paz, Baja California Sur (Reyes-Gómez 2004) y reportes específicos en Isla Pájaros e Isla Venados, Sinaloa; Las Islitas, Isla Isabel, Isla Marías, Isla Marietas en Nayarit (Díaz de León 1910); Puerto Vallarta y Bahía de Banderas, Jalisco; Bahía de Santiago e Islas Revillagigedo, Colima; Acapulco y Zihuatanejo en Guerrero y Puerto Ángel, Bahías de Huatulco (Bullock 1988) y Salina Cruz, Oaxaca (Reyes-Gómez 2004) (Figura 3).

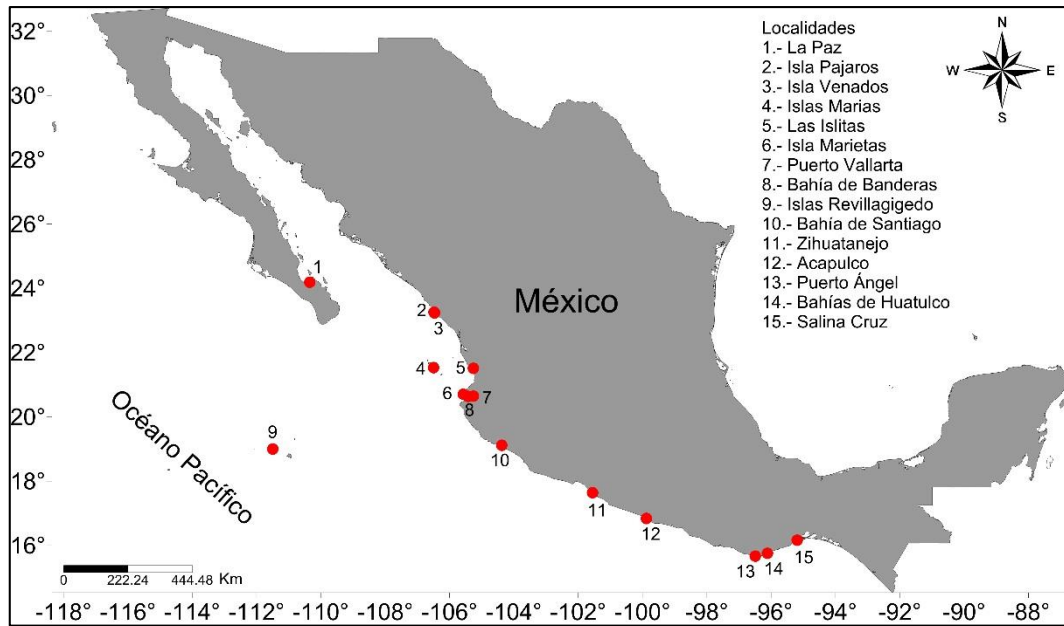


Figura 3. Localidades de distribución del quitón *Chiton* (*Chiton*) *articulatus*

2.6 Anatomía del sistema reproductivo

El sistema reproductivo de los poliplacóforos se constituye por una gónada y dos conductos (Higley y Heath 1912). La gónada en quitones es una sola estructura lobulada en la región dorsal media del quitón (Figura 4). La aorta recorre la superficie dorsal de la gónada, y está unida a la pared dorsal del cuerpo por los filamentos y membranas de tejido conectivo. La gónada es un tubo con superficie exterior compuesta por tejido conectivo y muscular delgado con superficie interior forrada con epitelio celómico. El epitelio ciliado interior dorsal forma el epitelio germinal, a partir del cual se originan los gametos y células que forman el folículo (Matthews 1956, Nimitz 1964, Aquinas-Nimitz y Giese 1964, Selwood 1968, Richter y Götting 1974). La pared gónadal se invagina formando pliegues llamados laminas, plaquetas (Nimitz 1964, Aquinas-Nimitz y Giese 1964, Barnes 1972), o placas de tejido (Selwood 1968) (Figura 4).

Al interior de la gónada se observan vasos sanguíneos (ciliados y no ciliados) que se conectan con la aorta dorsal y generalmente se encuentran ubicados en el lumen dorsal de la gónada (Gaymer *et al.* 2004). Los cilios de los vasos sanguíneos ayudan al desplazamiento y expulsión de los gametos maduros hacia los gonoductos durante el desove (Selwood 1968).

Los gonoductos se ubican en la región dorso-posterior de la gónada (Figura 4). Cada gonoducto se extiende a lo largo de la superficie anterior del pericardio y de la región ventro-lateral, cerca del límite entre la sexta y séptima placa. Los oviductos son conductos simples

forrados con un epitelio ciliado, que después de una corta distancia son revestidos con células secretoras alargadas. La porción glandular de los oviductos probablemente produce gran parte de la mucosa que envuelve a los ovocitos maduros cuando son expulsados (Pearse 1979).

Los conductos espermáticos, se encuentran forrados con un epitelio ciliado continuo hasta la superficie dorsal del testículo, carece de células secretoras (Matthews 1956), pero que a menudo contienen glóbulos de color pardo-amarillento (Hyman 1967).

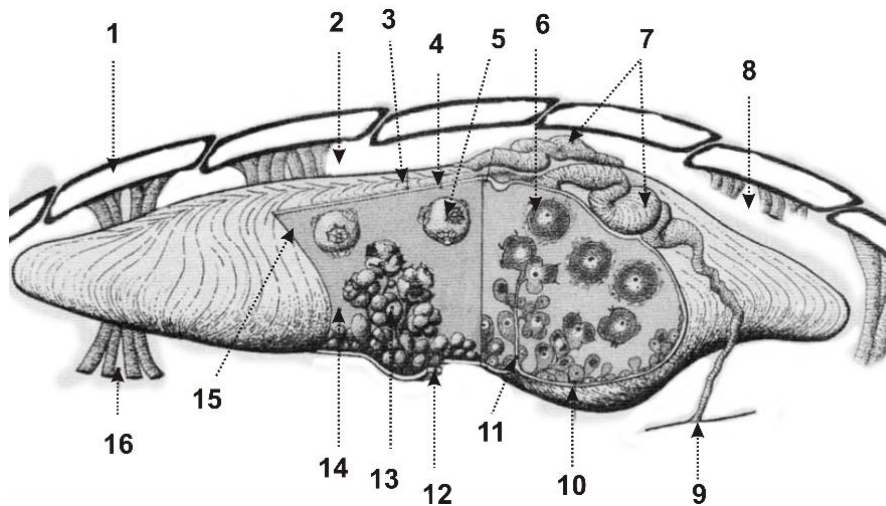


Figura 4. Estructura interna de la gónada de un quitón hembra (Modificado de Richter 1986).

1) placas, 2) ubicación de la aorta, 3) pared gonadal dorsal, 4) epitelio ciliado, 5) ovocito con folículo, 6) ovocito maduro, 7) oviductos, 8) ubicación del pericardio, 9) gonoporo, 10) epitelio germinal y/o placas de tejido germinal, 11) pliegues del tejido germinal, 12) pared gonadal ventral, 13) ovocitos secundarios, 14) lumen ventral, 15) lumen dorsal, 16) músculo dorso ventral.

2.7 Ontogenia y maduración de la gónada

En invertebrados, el origen y desarrollo de la gónada es muy complejo, variado y poco estudiado a pesar de ser un aspecto fundamental en la biología del desarrollo. En los quitones la gónada se origina como dos lóbulos, los cuales se fusionan para formar un solo saco, el cual posteriormente se expande para formar un espacio hueco (lumen gonadal), a su vez la pared ventral gonadal se invagina formando pliegues hacia el interior del saco (placas de tejido) (Plate 1902a, Avila-Poveda y Abadia-Chanona 2013). Una vez formada la gónada (saco) se originan los primeros gametos a partir del epitelio germinal (placas de tejido, Selwood 1968), para su posterior desarrollo y maduración (Avila-Poveda y Abadia-Chanona 2013).

Se ha encontrado que el origen y desarrollo de la gónada del quitón ocurre posterior a la metamorfosis (Plate 1898, 1902a, 1902b), para después diferenciarse sexualmente en hembras o machos, por ejemplo en la especie *Trachydermon raymondi*, primero se diferencia como hembra y después como macho, o se diferencia en hembra y permanece así (Heath 1908). Para *T. raymondi* y *Nuttallina thomasi* se ha descrito la anatomía general de la gónada y gonoductos (Higley y Heath 1912), mientras que para *Lepidochitona cinereus* se describió histológicamente el inicio de la primera madurez sexual (Richter y Götting 1974).

Recientemente para las especies *Chiton (Chiton) articulatus* y *C. (C.) albolineatus* se han establecido cuatro estadios de vida temprana basados en la ontogenia de la gónada: subjuvenil (quitones menores a 14 mm de LT), juvenil (quitones entre 14 y 28 mm de LT), subadulto (quitones entre 28 y 40 mm de LT) y adulto (quitones superiores a 40 mm de LT) (Avila-Poveda y Abadia-Chanona 2013).

2.8 Estructura de la gónada, desarrollo y desplazamiento de los gametos

Una peculiaridad de los quitones comparada con otros moluscos es que la gónada es una estructura simple y funciona como un único folículo gonadal estructurado por una “pared folicular”, ubicado en la parte ventral de la gónada y un “lumen folicular” descentralizado hacia la parte dorsal de la gónada (Selwood 1968, Sakker 1984, Richter 1986, Gaymer *et al.* 2004, Avila-Poveda y Abadia-Chanona 2013). El desarrollo de los gametos empieza en la parte ventral de la gónada, en el epitelio germinal y/o placas de tejido germinal (Selwood 1968), posteriormente, se desarrollan (maduran) y se dirigen hacia la parte dorsal (lumen geoméricamente excéntrico), donde finalmente los gametos maduros llegan a los gonoductos para ser expulsados al entorno (Higley y Heath 1912,

Selwood 1968, Richter y Götting 1974, Sakker 1984, Richter 1986, Gaymer *et al.* 2004, Avila-Poveda y Abadia-Chanona 2013) (Figura 4).

2.9 Separación y extracción de la gónada para estudios de biología reproductiva

Generalmente, para estudios de biología reproductiva en poliplacóforos se diseccionan organismos no relajados y se extrae cualquier sección de gónada (ventral o dorsal) que es usada para realizar histología, establecer estadios de maduración gonádica y para describir el ciclo reproductivo. Sin embargo, con este procedimiento se obtiene una gónada de consistencia flácida, gelatinosa y de difícil manipulación y un cuerpo contraído (como un reflejo de defensa hacia su depredador). Además, este procedimiento no tiene en cuenta la estructura anatómica de la gónada, ni el proceso de desarrollo de los gametos, lo cual podría subestimar los resultados reproductivos (Figura 5A).

Por el contrario si se relajan los quitones, se fija, separa y se extrae una gónada compacta y completa se está considerando la anatomía de la gónada y el proceso de desarrollo y desplazamiento de los gametos, esperando no sesgar los resultados y no subestimar la evaluación del ciclo y temporada reproductiva (Figura 5B).

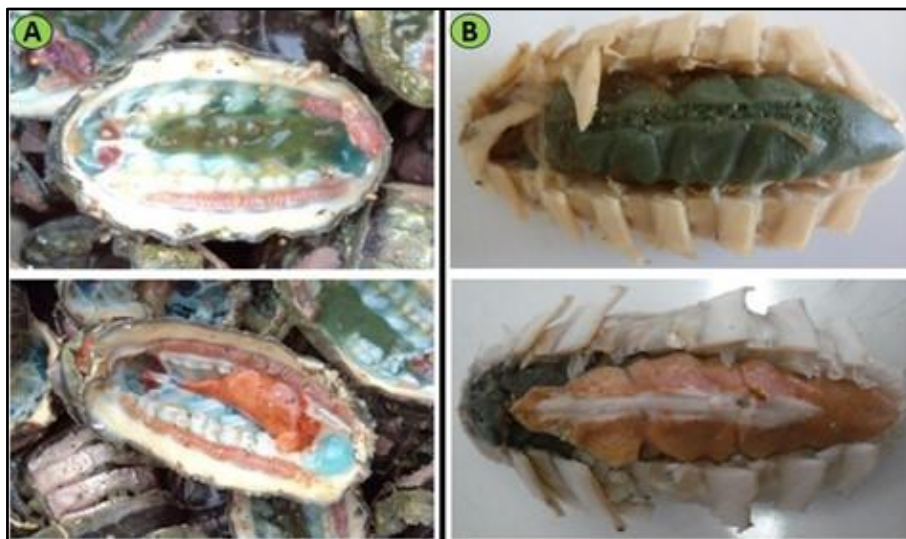


Figura 5. Apariencia morfológica de gónadas extraídas en fresco y fijadas.

A) gónada flácida y gelatinosa sin previa relajación ni fijación. B) gónada compacta y completa obtenida de quitones previamente relajados y fijados. Las gónadas con coloración verde olivo corresponden a hembras (parte superior) y las gónadas con coloración naranja-salmón corresponden a machos (parte inferior).

2.10 Sexualidad

La gran mayoría de poliplacóforos son gonocóricos (Eernisse 2007). Específicamente para *C. (C.) articulatus* se ha reportado que presenta una diferenciación sexual entre los 16.08–24.34 mm de LT (Avila-Poveda y Abadia-Chanona 2013), sin embargo hay tres especies de quitones para las que se reporta hermafroditismo ocasional, *Lepidochitona caverna*, *Lepidochitona fernaldi* (Eernisse 1988, Buckland-Nicks y Eernisse 1993) y *Plaxiphora aurata* (Scarano y Ituarte 2009). Estas especies aparentemente son capaces de realizar auto-fertilización, o al menos la fertilización es posible debido a la coexistencia de los gametos masculinos y femeninos en la misma gónada (Buckland-Nicks y Eernisse 1993, Scarano y Ituarte 2009).

En el quitón *C. (C.) articulatus*, Ramírez-Álvarez *et al.* (2013) observaron una incidencia inusual de hermafroditismo, siendo generalmente el tejido femenino el que ocupa la mayor parte de las secciones de la gónada respecto al tejido masculino. Sin embargo, en este estudio no se indica la longitud total de los quitones muestreados. Por lo tanto, es difícil de integrar la información para reconocer si *C. (C.) articulatus* es: 1) una especie hermafrodita en su etapa adulta, y/o 2) si estos quitones son sólo ejemplares juveniles-subadultos que están en un proceso de diferenciación sexual (Coe 1944).

2.11 Temporada reproductiva

Varios autores reportan que la temperatura juega un papel importante en el ciclo reproductivo de los quitones y en muchos invertebrados, ya que influye directamente en la reproducción (Pearse 1978, Barbosa *et al.* 2009). En este sentido, se ha observado que la temporada reproductiva coincide con el aumento o disminución de la temperatura, a su vez, las fluctuaciones de la temperatura puede influenciar en la intensidad y duración de los desoves (Glynn 1970, Himmelman 1975, 1979, Yoshioka 1989, Barbosa *et al.* 2009).

Al parecer, cuando la superficie del mar alcanza temperaturas más altas, este aumento señala el comienzo del ciclo reproductivo en quitones, especialmente en áreas donde hay grandes fluctuaciones estacionales (>8 °C) (Barnes 1972, Himmelman 1978, Currie 1990, Soliman *et al.* 1996); pero en los lugares más tropicales los cambios en la temperatura superficial del mar son mínimos, por lo que se espera que los quitones muestren un desove constante durante todo el año (Pearse 1978).

Para una población de quitones adultos de la especie *C. (C.) articulatus* en el estado de Oaxaca, México, se evaluó a lo largo de un año los cambios en la forma del cuerpo de acuerdo a 10 índices somáticos y reproductivos, basado en el intercambio energético entre los tejidos somáticos (pie, manto, vísceras, placas) y el tejido reproductivo (gónada). Estos índices muestran cambios corporales (de ovalado-ancho a ovalado-alargado) y de condición física (de bajo-peso a sobre-peso) que sugieren dos temporadas reproductivas: la primera en mayo (finales de la primavera) cuando la temperatura superficial del mar fue la más alta ($30.2\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$), y la segunda durante agosto-septiembre (a finales del verano) cuando la temperatura superficial del mar estaba en $29\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Avila-Poveda 2013).

Mientras que mediante histología e índice gonadosomático, se estableció la temporada reproductiva para la misma especie en dos localidades: Las Brisas y Playa Jaramillo en Guerrero, indicando que en ambas localidades el periodo de desove se da en agosto 2010 a enero 2011 (Ramírez-Álvarez 2013).

2.12 Edad/talla de madurez sexual

La edad/talla de madurez sexual de una población, es el rasgo fundamental en la historia de vida de una especie (Stearns 1992, 2000), más aún porque es un parámetro importante para el manejo pesquero (Holden y Raitt 1975). Desde el punto de vista de la biología del desarrollo, en los pre-adultos (*i.e.*, subjuvenil, juvenil, subadulto), se ha utilizado el término “talla inicial de madurez sexual (T_{im})”, definiéndola como la talla a la cual un organismo produce por primera vez en su vida un lote de gametos maduros después que las gónadas pasaron por el proceso de diferenciación sexual (Ramirez-Llodra 2002, Avila-Poveda y Abadia-Chanona 2013). Mientras que desde el punto de vista de la biología pesquera, se utiliza el término “talla de madurez sexual ($T_{m50\%}$)” definida como la talla a la cual el 50% de los individuos de un stock (estadio de vida adulto) están reclutados eficientemente a la reproducción (Stearns 1992). Cabe señalar que este último término pesquero se ha utilizado con diversos símbolos (*e.g.*, t_m , t_{m50} , TM , TMS), nombres (*e.g.*, primera madurez sexual, madurez sexual, media de madurez, maduración masiva, reclutamiento a la reproducción) e incluso diferentes maneras de estimarla (Ragonese y Bianchini 2014) que han generado confusiones conceptuales.

En muchos casos el término “madurez” se utiliza para designar el grado de madurez de la gónada (estadios de maduración gonádica); mientras que el término “madurez sexual” se refiere a la capacidad para llevar a cabo la reproducción (Holden y Raitt 1975). Considerando la madurez sexual, la vida de un individuo puede dividirse en dos fases o grupos de madurez, los que están en preparación (sub-adultos) y los que se incorporan al stock reproductivo (adultos) para cumplir con el ciclo reproductivo (Stearns 1992, Ramirez-Llodra 2002).

Por lo que en *C. (C.) articulatus* Rojas-Herrera (1988), estableció una T_{im} en 40 mm LT basado en observaciones macroscópicas de la gónada. También estimó la talla de captura real en 36.15 mm y la talla de captura óptima en 59.54 mm. Recientemente, desde un punto de vista de biología del desarrollo, Avila-Poveda y Abadia-Chanona (2013) establecieron la T_{im} en 17 mm de LT para machos y de 32 mm de LT para hembras.

2.13 Aspecto pesquero, comercialización y consumo

La captura del quitón *Chiton (Chiton) articulatus* se practica desde hace muchos años en las costas de Mazatlán, Sinaloa (Flores-Campaña *et al.* 2012), Acapulco, Guerrero (García-Ibáñez *et al.* 2013, Olea-de-la Cruz *et al.* 2013) y Puerto Ángel, Oaxaca, México (Avila-Poveda y Abadia-Chanona 2013), debido a que se utiliza el pie como carnada para la pesca artesanal, y cuando la pesca de otros recursos es escasa, el quitón es utilizado como complemento alimenticio y de subsistencia. Recientemente, el quitón se ofrece solo en “temporada” en algunos restaurantes y marisquerías de la zona costera de los estados de Sonora y Sinaloa, México, haciendo referencia a la existencia o no del recurso, que se relaciona con las condiciones climáticas de la región y las necesidades que tenga quienes se dedican a su captura y comercialización (Flores-Campaña *et al.* 2012). No obstante, en la costa de Acapulco, Guerrero y en playas de Oaxaca, el quitón se captura durante cualquier época del año y sin restricciones en cuanto a la cantidad y tamaño (Abadia-Chanona y Avila-Poveda, obs. pers.).

Flores-Campana *et al.* (2012) y García-Ibáñez *et al.* (2013) indicaron que es evidente la existencia de un patrón en la pesca de esta especie a través del tiempo, lo que se refleja en la consistencia de las cantidades, tamaños y pesos de los ejemplares capturados en ciertas fechas o temporadas. De esta manera, observaron que durante el verano se extrae gran cantidad de organismos de tamaños pequeños, mientras que en invierno, la cantidad disminuye pero los tamaños de estos organismos son considerablemente mayores; además, es de resaltar la

tendencia decreciente de la talla media anual de los ejemplares, lo que puede manifestar una fuerte presión pesquera del recurso (García-Ibáñez *et al.* 2013).

Por su parte, Ríos-Jara *et al.* (2006), así como Flores-Campaña *et al.* (2007a), mencionan que en la zona costera de Jalisco, Colima y Sinaloa, México, la demanda y venta de *C. (C) articulatus* varía a lo largo del año, y se relaciona con las costumbres, tradiciones, necesidades de los pescadores y temporadas climáticas (García-Ibáñez *et al.* 2013).

La comercialización del quitón se desarrolla de manera ambulante, es decir los vendedores van de un lugar a otro sin permanecer estables en un sitio. En las playas de Acapulco, Guerrero, el quitón fresco se oferta en \$100.00 por bolsa con aproximadamente 20 quitones (Figura 6A, obs. pers. 2012); mientras que en el municipio de San Pedro Pochutla, Oaxaca (a 35 minutos de Huatulco), el quitón se ofrece fresco en mercados ambulantes a \$20.00 por bolsa, que corresponden entre 20 a 30 quitones menores a 30 mm de longitud total (Figura 6B, obs. pers. 2011).

En cuanto al consumo, algunos restaurantes de San Pedro Pochutla, Oaxaca, ofrecen un platillo elaborado llamado “ceviche: lengua a la mexicana” que tiene un valor de \$85.00, equivalente a dos bolsas de quitón (Figura 6C, Abadía-Chanona y Avila-Poveda obs. pers. 2011). El consumo doméstico generalmente se da entre pescadores ribereños de Puerto Ángel, Oaxaca como botana o platillo elaborado en casa para compartir un domingo en familia (Figura 6D, obs. pers. 2012).

Por otra parte, las placas (valvas) de *C. (C.) articulatus* se utilizan para la elaboración de dijes “collares” engarzados en plata y artículos de decoración (Figura 7, obs. pers. 2015). En el Puerto Adolfo López Mateos, Baja California Sur, México, los dijes son comercializados con un valor de \$120 en tiendas de artesanías, sin embargo, no se conoce la procedencia exacta de las conchas, pero se piensa que provienen de los estados de Sinaloa, Guerrero y/o Oaxaca, ya que son estados que tienen una fuerte demanda de conchas que son utilizadas como artesanías.

En la costa de Mazatlán, Sinaloa, donde se captura en diferentes lugares del litoral rocoso intermareal, incluyendo la Isla Pájaros, Isla Venados e Isla Lobos (Flores-Campaña *et al.* 2007a), se requieren aproximadamente 588 quitones para completar un kilogramo de pie de quitón (Flores-Campaña *et al.* 2012). Por otra parte, existe un estudio en el que se promueve

el consumo de “lengua de perro” e indica que el quitón *C. (C.) articulatus* proporciona minerales importantes para la salud humana (Melo *et al.* 2011).



Figura 6. Collage fotográfico de la comercialización y consumo del quitón *Chiton (Chiton) articulatus*.

A) Oferta como producto fresco en la playa, B) oferta como producto fresco en mercados ambulantes, C) Platillo de consumo en restaurante, y D) recolecta para consumo doméstico.



Figura 7. Comercialización del quitón *Chiton (Chiton) articulatus* en forma de dije.

2.14 Estatus legal

Hasta el momento no existe ningún tipo de norma o vigilancia sobre la captura y comercialización del quitón *C. (C.) articulatus*, por lo que su extracción es una actividad libre que puede ejercer cualquier persona (Flores-Campaña *et al.* 2012). Tanto la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA) como la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), no incluyen al quitón como un recurso pesquero, a pesar de tener una pesquería bien establecida (García-Ibáñez *et al.* 2013). Por lo tanto, sin estrategias viables de extracción y protección del recurso, se podría generar gradualmente un impacto en la población de la especie (García-Ibáñez *et al.* 2013).

De acuerdo a los resultados de distintas investigaciones (Holguín-Quiñones y Michel-Morfín 2002, Flores-Rodríguez 2004, Holguín-Quiñones 2006, Flores-Campaña *et al.* 2007a, León-Herrera *et al.* 2009, Olea de la Cruz *et al.* 2011, Flores-Campaña *et al.* 2012, Flores-Garza *et al.* 2012a, García-Ibáñez *et al.* 2013), indican que existe una evidente disminución anual de la talla, decremento en la abundancia y densidad de los individuos debido a la captura del recurso; lo anterior sin duda repercutirá en mayor o menor grado en un aumento del esfuerzo pesquero, así como en la modificación de la estructura, dinámica y ensamble de especies de la zona intermareal (García-Ibáñez *et al.* 2013).

3 Justificación

Recientemente el quitón *Chiton (Chiton) articulatus* es ofrecido como un platillo exótico, gourmet o como botana a los turistas en los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca (Ríos-Jara *et al.* 2006, Villegas-Maldonado *et al.* 2007, Olea-de-la-Cruz *et al.* 2011, Flores-Garza *et al.* 2012a, Olea-de-la-Cruz *et al.* 2013). Por ello, representa un recurso explotable de interés económico (Flores-Garza *et al.* 2012a) a lo largo de su área de distribución; y por tanto es un molusco con potencial pesquero. Por otra parte, se ha reportado que el abastecimiento de moluscos en general para consumo humano en Acapulco, proviene de otros estados como Baja California Sur, Sinaloa, Sonora y Oaxaca (Villegas-Maldonado *et al.* 2007), por tal razón se podría esperar que a futuro se incluya al quitón *C. (C.) articulatus* para abastecer dicha demanda.

Actualmente, la información que se tiene sobre los aspectos de la biología reproductiva de *C. (C.) articulatus* es casi nula. Sin embargo, estos aspectos biológicos y reproductivos son

algunos de los conocimientos necesarios que aportan información básica para poder establecer normas y regulaciones pesqueras (*e.g.*, vedas, tallas mínimas de captura).

Si no se tiene una protección del recurso, su población puede declinar, y más aún si no se cuenta con el conocimiento básico de su biología reproductiva. Es por ello que el alcance de esta investigación es generar mediante el análisis histológico de la gónada de una población de quitón *C. (C.) articulatus* de Oaxaca, México, información básica acerca de aspectos reproductivos como maduración gonadal, ciclo reproductivo, proporción de sexos y talla de madurez sexual; además de describir la influencia de variables ambientales sobre el ciclo reproductivo, lo cual permite entender cómo estas variables regulan la reproducción de esta especie. Esta información y su interpretación permitirá tener la base que podrá utilizarse en un futuro para establecer normatividades y regulaciones pesqueras, como vedas temporales y tallas mínimas de captura, lo cual servirá para no extraer el recurso en temporada reproductiva permitiendo el desarrollo del organismo en un contexto de aprovechamiento sustentable del recurso, y evitar que la población de quitón *C. (C.) articulatus* colapse, como ha pasado en un sin número de especies de interés comercial.

4 Objetivo general

Describir las características reproductivas de *Chiton (Chiton) articulatus* y la influencia de variables ambientales sobre el ciclo reproductivo.

4.1 Objetivos específicos

- *Establecer una técnica para la relajación, fijación y disección de los organismos que permita obtener una gónada completa.
- *Establecer un método para la observación de los estadios de maduración gonádica.
- *Describir la secuencia de desarrollo de la célula sexual femenina y los estadios de maduración gonádica.
- *Caracterizar el ciclo reproductivo e identificar la temporada reproductiva.
- *Relacionar las variables ambientales con la temporada reproductiva.
- *Analizar la proporción de sexos mensual y total.
- *Estimar la talla de madurez sexual ($T_{m50\%}$).

5 Material y métodos

5.1 Recolecta de organismos

De enero a diciembre del 2011 se recolectaron mensualmente en promedio 32 quitones *C. (C.) articulatus* adultos en la zona intermareal rocosa de Puerto Ángel (15° 39' N - 96° 29' O), Oaxaca, México (Figura 8) con longitud total (LT, que incluye el cinturón del manto) entre 40 a 78 mm. La talla mínima establecida como “adulto” fue asignada considerando las clases de talla modal indicadas para otras poblaciones de *C. (C.) articulatus* (Holguín-Quiñones y Michel-Morfín 2002, Flores-Campana *et al.* 2007a, León-Herrera *et al.* 2009), y el inicio, desarrollo y maduración de la gónada a lo largo de los estados de vida temprana de *C. (C.) articulatus* de la población en estudio (Avila-Poveda y Abadía-Chanona 2013).

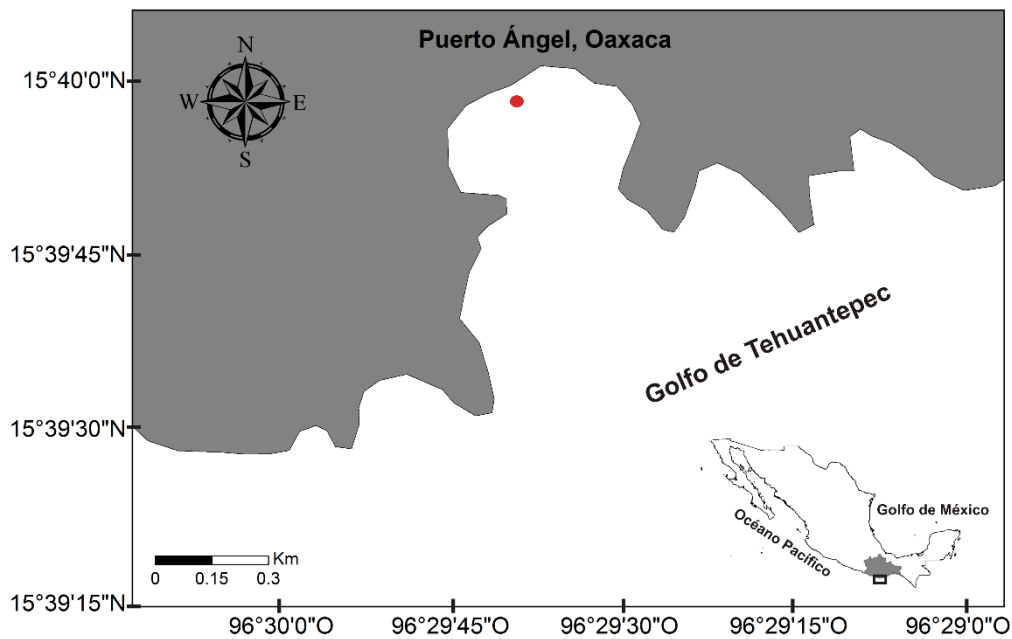


Figura 8. Área de recolección del quitón *Chiton (Chiton) articulatus*.

Cada quitón fue recolectado, insertado suavemente un cuchillo romo por debajo del cinturón del manto y del pie, haciendo palanca para separarlo de la roca (Figura 9).



Figura 9. Forma de recolecta del quitón *Chiton (Chiton) articulatus*.

5.2 Obtención de variables ambientales

Los datos de temperatura superficial del mar se obtuvieron de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, por sus siglas en inglés). Los datos de precipitación pluvial media mensual fueron proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional, a través de la estación meteorológica de Puerto Ángel, Oaxaca.

Los datos de radiación solar se obtuvieron mediante el cálculo del fotoperiodo según el modelo de duración del día de Jarmo Lammi (Lammi 2013). Esta herramienta calcula las horas de sol diarias y la energía solar para una fecha determinada, con base en una ubicación de latitud y longitud. Para el cálculo se tomó el dato de la energía solar en $W \cdot m^{-2}$ proporcionado por el programa. Finalmente, se obtuvo un promedio mensual de la energía (irradiancia: expresada como la radiación solar media) para cada mes de muestreo.

5.3 Morfometrías

Debido que los quitones se contraen como respuesta al estrés y depredación, en este estudio se establece un protocolo para una relajación, fijación, conservación y disección de los organismos que permite mantener quitones relajados en su forma original (para biometrías y análisis morfológicos) y además permite separar y extraer la gónada completa, compacta y sin pérdida de estructura (para análisis histológicos) (ver resultados, sección 6.1: protocolo de relajación, conservación, separación y extracción de la gónada). Siguiendo el protocolo de relajación y fijación de los organismos se tomaron cuatro morfometrías: longitud total (LT),

longitud de la concha (LC), el ancho total (AT) y ancho de la concha (AC) (Figura 10), y se registró el peso corporal total (PT) de cada quitón con una balanza analítica (± 0.001 g).

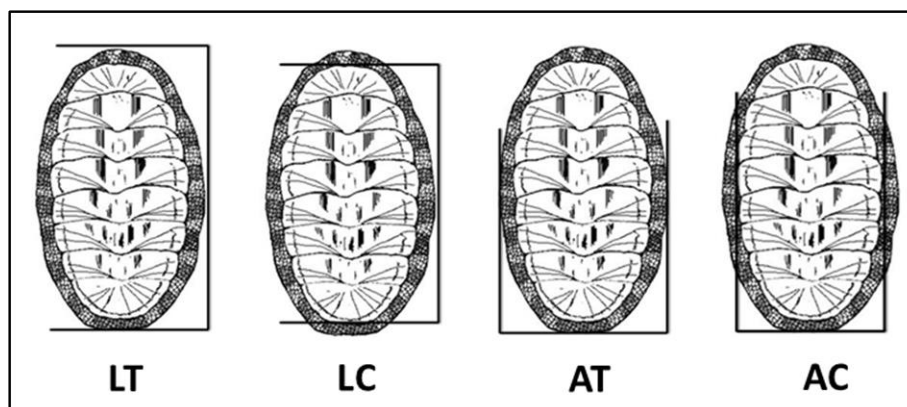


Figura 10. Morfometrías del quitón *Chiton (Chiton) articulatus*.

LT) longitud total incluyendo el cinturón del manto, LC) longitud de la concha sin el cinturón del manto, AT) ancho total incluyendo el cinturón del manto, AC) ancho de la concha sin el cinturón del manto.

5.4 Proceso histológico

Con las gónadas separadas, extraídas y fijadas (ver sección 6.1), se realizaron cortes transversales a lo largo de cada gónada. Cada porción de gónada fue colocada en cajas plásticas para histología (Figura 11) para su posterior procesamiento. La deshidratación se hizo mediante una serie de alcohol etanol al 70%, 96% y 100%, por cada concentración de alcohol se hicieron dos baños cada uno de 1 hora. Posteriormente, las muestras fueron aclaradas en tres baños cada uno de 45 min con Citrisolv® (compuesto químico comercial a base de terpenos y Hemo D como compuesto activo, solvente de la parafina). Después, cada muestra fue impregnada con parafina Paraplast® líquida (con punto de fusión en 56° C) con tres baños de 1 hora cada uno, y finalmente embebidas nuevamente en parafina Paraplast® usando moldes de plástico y dispensador de parafina para elaborar los cubos (Martoja y Martoja-Pierson 1967).

Se realizaron cortes seriados de 4 y 5 μm de espesor usando un micrótomo rotatorio (Leica RM2025), después los tejidos se colocaron sobre portaobjetos de vidrio y fueron teñidos usando el método tricrómico de Crossmon modificado (Hematoxilina de Groat, eritrosina B-naranja G y Azul tripan o verde luz, derivado de: Crossmon 1937, Gray 1954, Gutiérrez 1967), el cual contrasta el tejido conectivo, pero también permite revelar reservas de vitelo (gránulos de yema de huevo) (Martínez *et al.* 2011). Además, como los gametos masculinos y femeninos de los

quitones en sus primeras fases de desarrollo (*i.e.*, ovogonia, ovocito primario y ovocito secundario) son ácidos con una fuerte afinidad por tintes básicos (Giese *et al.* 1959, Cowden 1961, Aquinas-Nimitz y Giese 1964, Nagabhushanam y Deshpande 1982) esta tinción tricrómica fue realizada de forma dirigida hacia las hembras (finalizando con azul tripan) y hacia los machos (finalizando con verde luz) con la finalidad de dar un mejor contraste de las estructuras celulares de la gónada y gametos (Avila-Poveda y Abadía-Chanona 2013).

Finalmente, los cortes fueron sellados con resina sintética al 60% en xilol y un cubreobjetos, dejándolos secar una semana a temperatura ambiente y a la sombra.



Figura 11. Cortes transversales de la gónada del quitón *Chiton (Chiton) articulatus*.

5.5 Morfología del gameto femenino

Para observar la morfología de los gametos femeninos de *C. (C.) articulatus* en distintas etapas de desarrollo se realizaron observaciones histológicas y mediante un análisis con microscopía electrónica de barrido (MEB). Para la MEB, se seleccionaron al azar cinco hembras. Para asegurar la obtención de gametos en sus diferentes etapas de desarrollo, los quitones fueron recolectados en mayo de 2011 un periodo establecido como temporada reproductiva de acuerdo índices somáticos y reproductivos (Avila-Poveda 2013). Se tomaron cinco porciones de aproximadamente 1 mm² de gónada, las cuales fueron colocadas en tubos eppendorf y fijadas en

glutaraldehído al 1% por 4 horas a 4° C, después se realizaron lavados con solución amortiguadora de fosfatos (pH 7.1) durante 1 hora. Finalmente cada muestra fue mantenida en esta misma solución y temperatura (modificado de: Ituarte *et al.* 2010). Se realizó una postfijación con tetraóxido de osmio durante 1 h de acuerdo al protocolo de Buckland-Nicks (2014).

Posteriormente, se realizó la deshidratación en concentraciones graduales de alcohol etílico de 30 a 100% (cambios a razón de 12 horas), se secaron a punto crítico de CO₂ con un aparato al alto vacío. Hecho esto, se procedió a la separación de los huevos para ser montados en tachuelas de acero inoxidable, las cuales fueron colocadas en una cámara saturada con vapor de osmio, posteriormente se les dio un baño de paladio. Finalmente, se observaron y se tomaron imágenes utilizando un microscopio electrónico de barrido (Buckland-Nicks 2014).

5.6 Establecimiento de los estadios de maduración gonádica

En los poliplacóforos la gónada es anatómicamente simple y su estructura funciona como un único folículo gonadal (Figura 4). Para tener una representación de las características de todo el folículo gonadal (*i.e.*, la totalidad de la gónada), se estableció un método de observación panorámico a lo largo de un corte transversal de la gónada (ver método propuesto, sección 6.2 resultados), el cual considera la anatomía de la gónada, desarrollo y desplazamiento de los gametos.

5.7 Aspectos reproductivos

5.7.1 Ciclo reproductivo

El ciclo reproductivo puede definirse como la variación temporal en las frecuencias de organismos en los diferentes estadios de maduración gonádica, por lo que fue representado por medio de barras tanto para hembras y machos de *C. (C.) articulatus*, así como en conjunto (ambos sexos), usando la frecuencia de organismos en cada uno de los estadios de maduración gonádica para cada mes de muestreo.

5.7.2 Temporada reproductiva

La temporada reproductiva fue definida como el tiempo en el cual se observa la frecuencia más alta de organismos en estadio de madurez y desove, representado por medio del índice gonadosomático (IGS) y del índice de madurez microscópico (IMMi).

5.7.2.1 Índice gonadosomático

El índice gonadosomático (IGS) es una relación entre el peso de la gónada y el peso corporal:

$$IGS = \frac{PG}{PT - PG} \times 100$$

donde:

PG: peso de la gónada

PT: peso corporal total del organismo

Con este índice se asume que los valores más altos representan el periodo de mayor llenado de gametos maduros en la gónada, por tanto la mayor frecuencia de organismos se encuentran en un estadio de madurez y su posterior disminución indica desove. Los valores más bajos representan el periodo de vaciado total de la gónada, por tanto indica que la mayor frecuencia de organismos se encuentra en estadio de reposo.

Para saber si existe diferencia significativa entre los valores del IGS de cada mes, se aplicó un análisis de varianza de una vía (ANDEVA). Para identificar el origen de las diferencias se aplicó una prueba *a posteriori* de comparaciones múltiples de Tukey, y cada grupo homogéneo resultante fue representado en la gráfica por una letra diferente. Todos los resultados se analizaron con un nivel de significancia de 0.05. Se utilizó el programa estadístico STATISTICA versión 6.

5.7.2.2 Índice de madurez microscópico

Para conocer la temporalidad de cada uno de los estadios de maduración gonádica (EMG) a lo largo del periodo de muestreo se usó el índice de madurez microscópico (IMMi), propuesta por Yoshida (1952) y seguida por varios autores para distintos organismos de varios taxones:

$$IMMi = \frac{\sum [1(E1) + 2(E2) + \dots + n(En)]}{N}$$

donde:

E1: número de organismos en el estadio I

E2: número de organismos en el estadio II

En: número de organismos en el estadio *n* (*i.e.* estadio III, IV, V, *n*)

N: número total de organismos muestreados por mes.

Este índice ha sido utilizado en invertebrados de gónada difusa (inmersa en la masa visceral), y de gónada discreta (separada de la masa visceral), por ejemplo en un bivalvo (Meneghetti *et al.* 2004), cefalópodo (Ortíz 2013), ofiuroido (Patent 1969), y holoturoideo (Sewell 1992, Benítez-Villalobos *et al.* 2013, Kazanidis *et al.* 2014), entre otros.

De ese modo, el IMMi pondera los estadios de maduración gonádica para la población estudiada y para cada uno de los meses de muestreo (ver, ecuación de la media ponderada, Zar 2010).

5.7.3 Variables ambientales versus temporada reproductiva

Se graficaron los datos de temperatura superficial del mar, precipitación pluvial media mensual e irradiancia, para observar la relación de las fluctuaciones de estas variables con la temporada reproductiva (frecuencia de organismos en estadio de madurez y desove) del quitón *C. (C.) articulatus*, de Puerto Ángel, Oaxaca, México.

5.8 Proporción de sexos

Debido a que el quitón *C. (C.) articulatus* no presenta dimorfismo sexual externo, el sexo de cada ejemplar se determinó por observación macroscópica y microscópica de la gónada (mediante los cortes histológicos), ya que su coloración es un indicio de dimorfismo sexual interno; por lo que las gónadas de color verde corresponden a las hembras y el color en tonos naranja-salmón corresponde a machos (Rojas-Herrera 1988, Avila-Poveda y Abadia-Chanona 2013) (Figura 5).

La proporción de sexos (machos: hembras) se calculó mensualmente y del total de la muestra, dividiendo el número de machos entre el número de hembras. Se hicieron pruebas de hipótesis con el supuesto de que existe una proporción sexual de 1:1, utilizando el estadístico de prueba Chi-cuadrada con corrección de Yates (χ_c^2) (Yates 1934, Zar 2010):

$$\chi_c^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i - 0.5)^2}{E_i}$$

donde:

O_i : valor observado

E_i : valor esperado

Se rechazó la hipótesis de que existe una proporción de 1:1 cuando el valor de χ_c^2 fuera mayor a la χ_c^2 de tablas a un nivel de significancia de 0.05 (Zar 2010).

5.9 Talla de madurez sexual

La edad/talla de madurez sexual de una población, es un rasgo fundamental en la historia de vida de una especie (Stearns 1992, 2000), pues marca el final de la etapa juvenil (inmaduro) para iniciar la etapa adulta (cuando se alcanza la madurez sexual). En este estudio la “talla de madurez sexual ($T_{m50\%}$)” fue considerada como la talla a la cual el 50% de los individuos de un stock (estadio de vida adulto) están reclutados eficientemente a la reproducción (Stearns 1992). Esta talla se estimó para las cuatro medidas morfológicas (LT, LC, AT y AC) y para el peso corporal total (PT) de *C. (C.) articulatus*, mediante la frecuencia relativa acumulada por intervalo de clase (4 mm) de los organismos (adultos, ≥ 40 mm LT) que se encontraban en los estadios de maduración gonádica (EMG): III–madurez, IV–desove y V–repose. Se utilizó el programa Curve Expert Professional 2.0.4. para ajustar los valores obtenidos a la función logística sigmoideal (Somerton 1980) descrita por la siguiente ecuación:

$$y = a * [1 + b * e^{(-cx)}]^{-1}$$

6 Resultados

6.1 Protocolo de relajación, fijación, conservación y disección

6.1.1 Relajación

Consistió en someter a los quitones a intercambios graduales de agua de mar por agua dulce durante 1 h, adicionando 2 mL de etanol al 10% cada vez que se iba agregando agua dulce, hasta alcanzar una concentración de 50:50 (agua de mar/agua dulce + etanol). Una vez relajados (quitones estirados), con un vernier (± 0.1 mm) se tomaron las morfometrías correspondientes (Figura 10).

6.1.2 Fijación y conservación

Los organismos fueron fijados durante dos semanas en formol neutro al 10% en solución de agua de mar, y finalmente conservados en etanol al 70%.

6.1.3 Disección, separación y extracción de gónada

El protocolo de disección de los organismos para la separación y extracción de gónadas completas y compactas (Figura 5B), se realizó de la siguiente manera (Figura 12): A cada organismo completo, se le desprendió el cinturón del manto con ayuda de unas pinzas, después por medio de la inserción de una cuchilla fina, las placas fueron separadas de la musculatura, empezando por la placa anterior hasta la posterior y cuidando que esté totalmente desprendida del músculo dorsal. Una vez que el quitón quedó descubierto sin placas, se hicieron cortes paralelos a la longitud del quitón a ambos lados del surco de inserción de los órganos digestivos, para remover la zona muscular empezando de la parte posterior hacia la anterior y cuidando que la gónada se desprendiera de la aorta dorsal. Al finalizar este procedimiento la gónada fue pesada (PG) en una balanza analítica ($\pm 0,001$ g).



Figura 12. Proceso de disección, separación y extracción de la gónada de quitón.

1) Organismo completo relajado y estirado, 2) separación del cinturón del manto, 3) separación de las placas, 4) quitón sin placas, 5) corte de la musculatura dorsal, 6) desprendimiento de la musculatura dorsal, para mostrar la gónada completa y compacta, 7) cinturón del manto, placas, musculatura y víscera, gónada completa. La gónada color verde olivo corresponde a las hembras (H), mientras la gónada color salmón corresponde a los machos (M).

6.2 Método para la observación de los estadios de maduración gonádica

Se realizó una observación panorámica de los cortes transversales de cada gónada, observando desde el área ventral hacia la dorsal (Figura 13). De esta manera la observación tiene en cuenta la estructura anatómica general de la gónada y el proceso de desarrollo y desplazamiento de los gametos (*i.e.*, formación, desarrollo, maduración y desove de gametos).

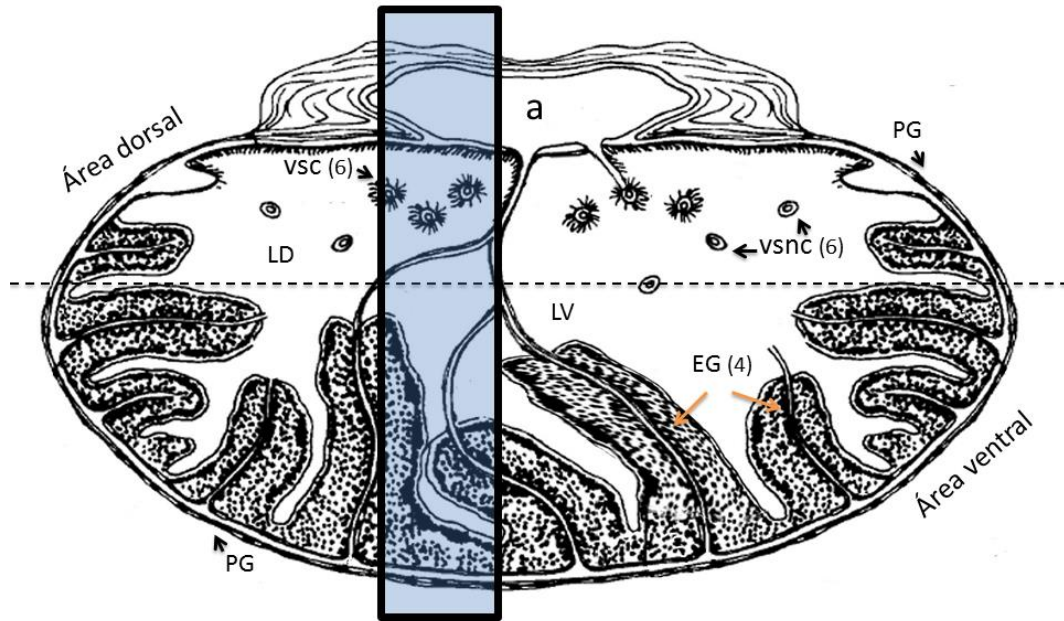


Figura 13. Esquema representativo de la gónada masculina de un quitón (Modificado de Sakker 1984).

El rectángulo representa el plano de observación panorámico para la asignación de los estadios de maduración gonádica. a, aorta dorsal; EG, epitelio germinal (placas de tejido); LD, lumen dorsal “geométricamente excéntrico”; LV, lumen ventral; PG, pared gonadal; vsc, vasos sanguíneos ciliados; vsnc, vasos sanguíneos no ciliados.

Adicionalmente, para mantener un rigor de observación y establecimiento de los estadios de maduración gonádica, fundamentado en el proceso fisiológico del gameto y la estructura completa de la gónada se generó una “plantilla modelo” (Tabla 1).

Esta plantilla considera las características histológicas más destacadas del proceso de desarrollo de las células sexuales (Cowden 1961, Selwood 1968, Richter y Götting 1974, Sakker 1984, Avila-Poveda y Abadía-Chanona 2013), junto con la descripción de los estadios de maduración gonádica ya reportados para distintas especies de quitones (Giese *et al.* 1959, Himmelman 1978, Pearse 1978, Nagabhushanam y Deshpande 1982, Eernisse 1988, Barbosa *et al.* 2009, entre otros). Para ello, se consideraron las siguientes características:

- Clave o marca de los organismos,
- Mes de muestreo,
- Sexo,
- Presencia del epitelio germinal (placas de tejido): grueso o delgado,

- Presencia/ausencia de vasos sanguíneos en el área dorsal de la gónada: ciliados (vsc) y/o no ciliados (vsnc),
- Llenado del lumen dorsal y ventral de la gónada con gametos: vacío, semilleno, lleno,
- Presencia/ausencia de gametogonias (ovogonias/espermatogonias) y gametocitos (ovocito primario y ovocito secundario/espermatozoides y espermatidas): pocos (x), varios (xx), muchos (xxx).
- Cantidad de gametos (ovocito maduro/espermatozoides): pocos (x), varios (xx) o muchos (xxx).
- Se establece el estadio de maduración gonádica de acuerdo a las observaciones anteriores como I= Goniogénesis, II = Desarrollo, III = Madurez, IV = Desove y V = Reposo.

Tabla 1. Plantilla modelo con las características más destacadas del desarrollo de las células sexuales de quitón.

Marca	Mes	Sexo	Epitelio germinal		Vasos sanguíneos		Llenado del lumen		X: pocos	XX: varios	XXX: muchos		Ovocito maduro/espermatozoides	Estadio	Observaciones
			grueso	delgado	vsc	vsnc	LD	LV	Ovogonias/espermatogonias	Ovocito/espermatozoides-espermatida	tipo-I	tipo-II			
Q1	Sep	Hembra	✓		✓	✓	vacio	medio lleno		X	X	XXX	X	II	

Asimismo, se elaboraron diagramas cualitativos para visualizar gráficamente el proceso de maduración gonádica. Finalmente, para ambos sexos fueron asignados cinco estadios de maduración gonádica: I-goniogénesis, II-desarrollo, III-madurez, IV-desove y V-reposo (Figuras 14 y 15).

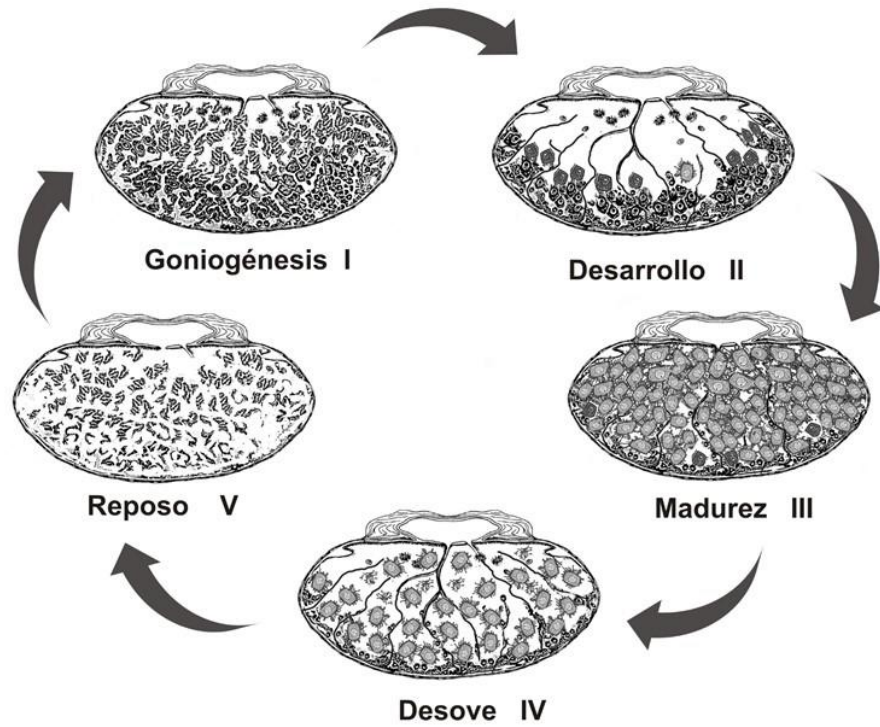


Figura 14. Secuencia esquemática de los estadios de maduración gonádica en hembras de quitón. Los números romanos indican el correspondiente estadio.

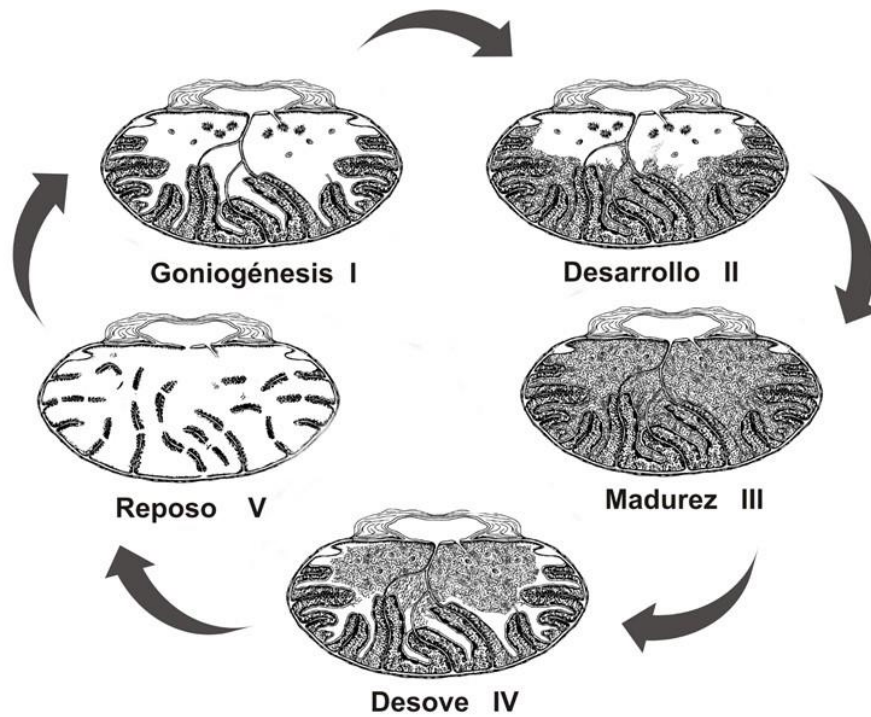


Figura 15. Secuencia esquemática de los estadios de maduración gonádica en machos de quitón. Los números romanos indican el correspondiente estadio.

6.3 Ovogénesis

La ovogénesis en *C. (C.) articulatus* inicia con la formación de las ovogonias, que surgen a partir de las células germinales primordiales ubicadas en el epitelio germinal. Las ovogonias crecen y dan origen a los ovocitos primarios ($40\pm 20\mu\text{m}$ de diámetro) que se caracterizan por presentar un citoplasma hialino vacuolado y fuertemente basófilo, mientras que el núcleo (vesícula germinal) se muestra translúcida con un solo nucléolo esférico basófilo (Figura 16).

En los ovocitos secundarios ($100\pm 30\mu\text{m}$ de diámetro), el citoplasma continúa siendo basófilo aunque deja de ser vacuolado para volverse granular. Se encuentran rodeados por células foliculares. Se observa el nucléolo esférico relativamente más grande que en los ovocitos primarios (Figura 16 y 17A).

Los ovocitos con folículo ($160\pm 30\mu\text{m}$ de diámetro) se caracterizan por poseer un citoplasma acidófilo y en su mayoría lleno de vitelo. Alrededor del ovocito se forma una estructura compuesta de células foliculares (folículo primario) que posteriormente se transformará en pequeñas prolongaciones citoplasmáticas, conformadas por una serie de filamentos tubulares, que indican el comienzo de la formación del casco del ovocito. Al ir creciendo éstas prolongaciones deforman a las células foliculares las cuales adquieren la forma de prolongación (Figura 16, 17B).

Los ovocitos maduros ($200\pm 15\mu\text{m}$ de diámetro, sin prolongaciones), se caracterizan por tener un citoplasma altamente acidófilo y lleno de gránulos de vitelo. Las células foliculares están totalmente deformadas en proyecciones formado las prolongaciones del casco que recubre al ovocito (“egg hull”) (Figura 16, 17C), estas prolongaciones pueden llegar a medir hasta $20\mu\text{m}$, (Figura 17D) y son característicos en poliplacóforos.

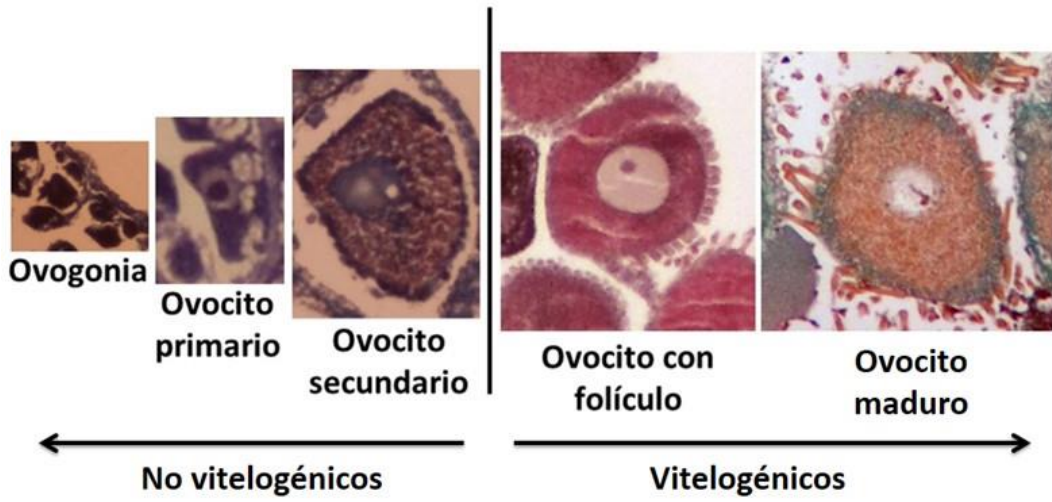


Figura 16. Secuencia histológica del desarrollo del ovocito del quitón *Chiton (Chiton) articulatus*.

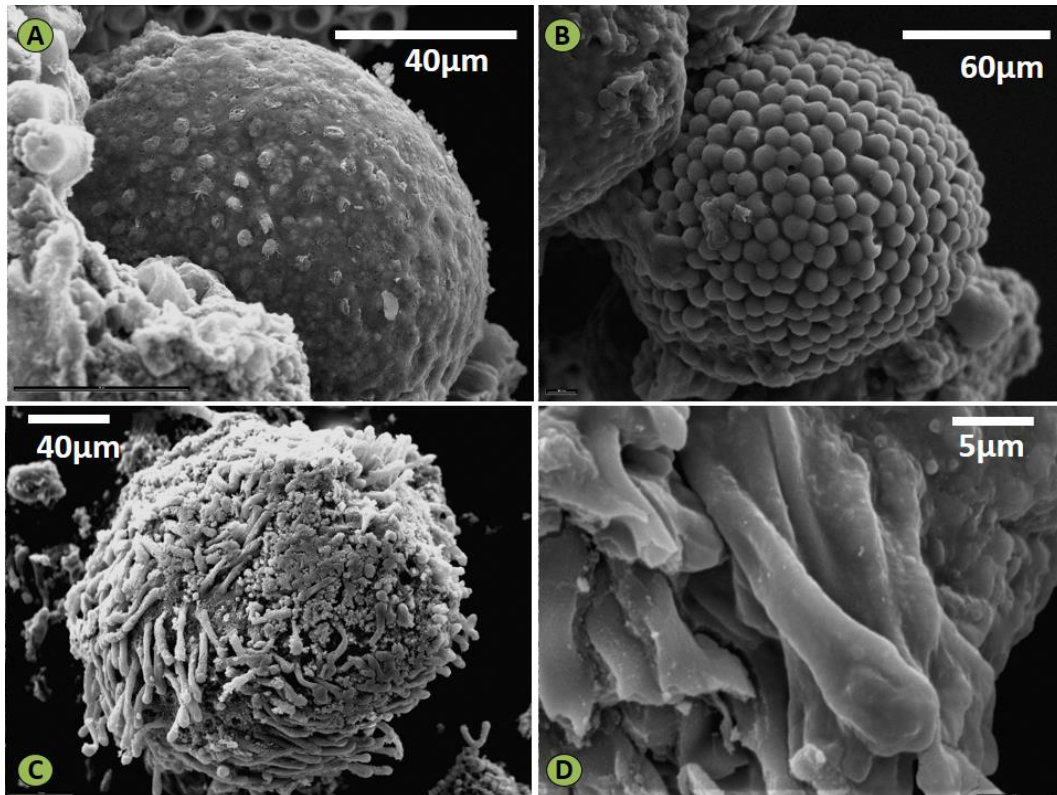


Figura 17. Microscopia electrónica de barrido del ovocito de quitón *C. (C.) articulatus*.

A, ovocito secundario; B, ovocito con folículo; C, ovocito maduro con casco y D, prolongaciones del casco del ovocito maduro.

6.4 Descripción de los estadios de maduración gonádica

6.4.1 Goniogénesis (estadio I)

Generalidad: Se observa mucho epitelio germinal continuo en conexión con la pared gonadal. El lumen gonadal dorsal (con dirección a la aorta) se encuentra vacío, y en el lumen ventral (con dirección al manto) de las hembras se observan ovogonias, mientras que en los machos espermatogonias (Figura 18).

Hembras: En la periferia del epitelio germinal (parte ventral de la gónada) comienzan a distinguirse las ovogonias, pueden observarse los primeros ovocitos primarios acidofílicos que presentan vacuolas y unos cuantos ovocitos secundarios granulosos que aún conservan afinidad acidófila (Figura 18A).

Machos: Bordeando el epitelio germinal se distinguen grandes cúmulos de espermatogonias, espermatocitos y espermátidas (Figura 18B).

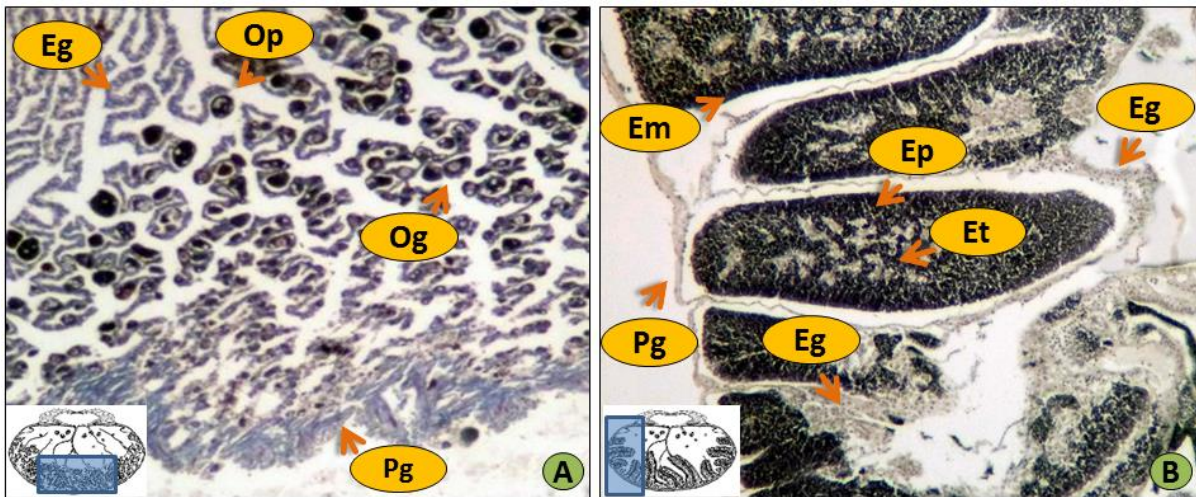


Figura 18. Estadio I-Goniogénesis, del quitón *C. (C.) articulatus*.

La observación corresponde al área marcada por el recuadro en el esquema general de la gónada, parte inferior izquierda. A) gónada de hembra, B) gónada de macho. Eg, epitelio germinal o placas de tejido; Em, espermátidas; Ep, espermátocitos primarios; Et, espermátogonias; Og, ovogonias; Op, ovocitos primarios; Pg, pared gonadal.

6.4.2 Desarrollo (estadio II)

Generalidad: El epitelio germinal es muy notorio y grueso, se observan vasos sanguíneos ciliados y no ciliados en la parte del lumen dorsal. El lumen dorsal en ambos sexos se encuentra vacío (Figura 19).

Hembras: El lumen ventral se encuentra lleno de ovogonias, ovocitos primarios, secundarios, y ovocitos con folículo; empiezan a formarse a ovocitos maduros con las primeras prolongaciones del casco del ovocito (Figura 19A).

Machos: El lumen ventral donde está ubicado el epitelio germinal se encuentra rodeado por espermatogonias, espermatocitos y espermátidas, comienzan a acumularse los espermatozoides en el lumen ventral (Figura 19B).

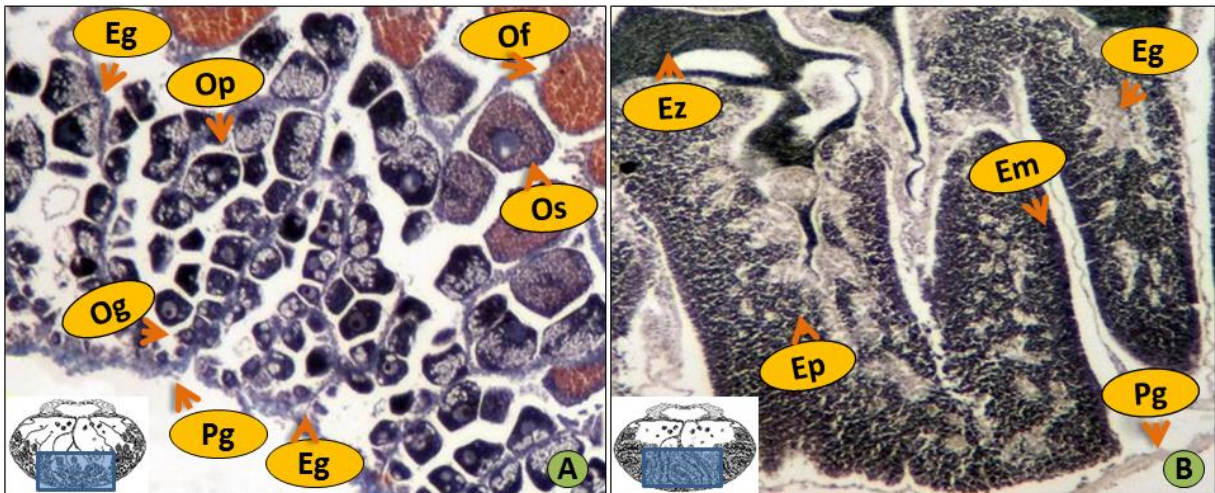


Figura 19. Estadio II-Desarrollo, del quitón *C. (C.) articulatus*.

La observación corresponde al área marcada por el recuadro en el esquema general de la gónada, parte inferior izquierda. A) gónada de hembra, B) gónada de macho. Eg, epitelio germinal; Em, espermátidas; Ep, espermatocitos primarios; Ez, espermatozoides; Of, ovocitos foliculogénicos; Og, ovogonias; Op, ovocitos primarios; Os, ovocitos secundarios; Pg, pared gonadal.

6.4.3 Madurez (estadio III)

Generalidad: El epitelio germinal es poco visible y delgado. En el lumen dorsal de la gónada se observan algunos vasos sanguíneos ciliados (Figura 20).

Hembras: La gónada se encuentra totalmente llena de ovocitos maduros con casco desde la parte ventral a la dorsal, ubicados muy juntos entre sí. Es posible observar algunas pocas ovogonias y ovocitos en la parte ventral de la gónada, aunque no es común (Figura 20A).

Machos: El lumen dorsal y ventral (toda la gónada) se encuentra totalmente llenos de espermatozoides. Se pueden observar algunas pocas espermatogonias, espermatocitos y espermátidas alrededor del epitelio germinal (Figura 20B).

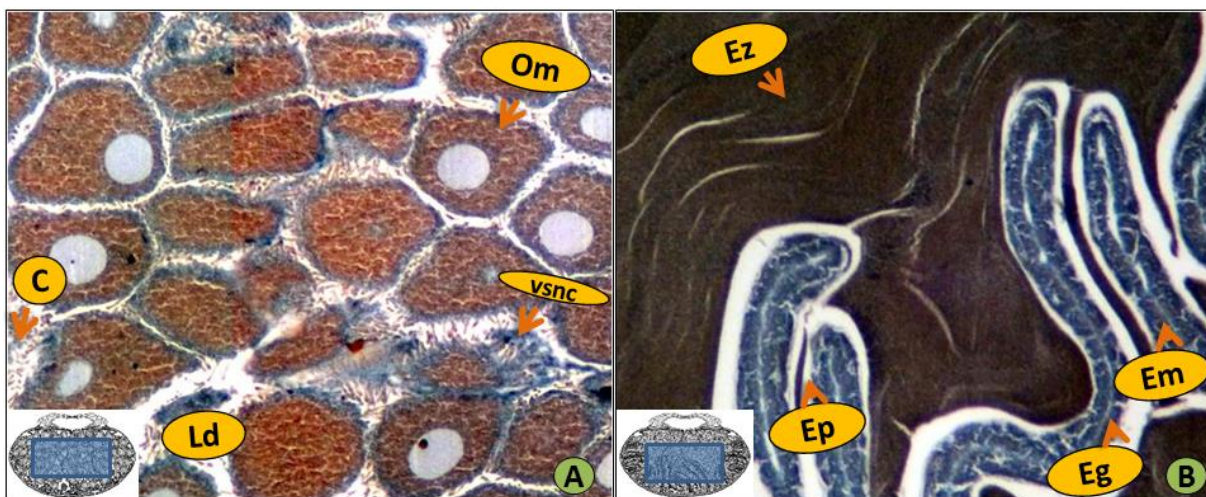


Figura 20. Estadio III-Madurez, del quitón *C. (C.) articulatus*.

La observación corresponde al área marcada por el recuadro en el esquema general de la gónada, parte inferior izquierda. A) gónada de hembra, B) gónada de macho. C, prolongaciones del casco del ovocito maduro; Eg, epitelio germinal; Em, espermátidas; Ep, espermatocitos primarios; Ez, espermatozoides; Ld, lumen dorsal; Om, ovocitos maduros con casco; vsnc, vasos sanguíneos no ciliados.

6.4.4 Desove (estadio IV)

Generalidad: En la parte ventral de la gónada empieza a notarse un epitelio germinal escaso, discontinuo y muy delgado en hembras, pero muy abundante, continuo y grueso en machos. En la parte dorsal de la gónada se empiezan a notar vasos sanguíneos ciliados y no ciliados (Figura 21).

Hembras: El lumen ventral empieza a vaciarse, sin embargo, puede haber pocos ovocitos secundarios y ovocitos maduros (con casco) los cuales se encuentran dispersos en el lumen dorsal. En el lumen ventral se observan muy pocos ovocitos maduros (Figura 21A).

Machos: El lumen dorsal se encuentra exclusivamente ocupado por espermatozoides sin presencia de espermatogonias, espermatocitos, o espermatidas. El lumen ventral se encuentra semivacío y puede haber algunos espermatocitos y pocos espermatozoides (Figura 21B).

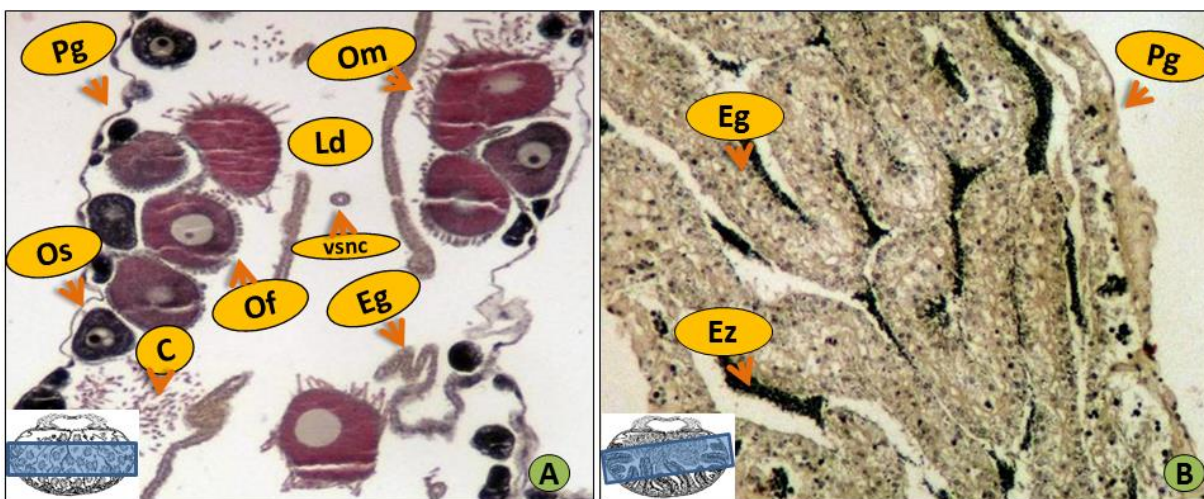


Figura 21. Estadio IV-Desove, del quitón *C. (C.) articulatus*.

La observación corresponde al área marcada por el recuadro en el esquema general de la gónada, parte inferior izquierda. A) gónada de hembra, B) gónada de macho. C, prolongaciones del casco del ovocito maduro; Eg, epitelio germinal; Ez, espermatozoides; Ld, lumen dorsal; Of, ovocitos foliculogénicos; Om, ovocitos maduros con casco; Pg, pared gonadal; Os, ovocitos secundarios; vsnc, vasos sanguíneos no ciliados.

6.4.5 Reposo (estadio V)

Generalidad: El epitelio germinal es escaso, roto o discontinuo en hembras y muy abundante y continuo en machos. El lumen dorsal y ventral se encuentran vacíos y no hay células sexuales, aunque algunas veces se pueden ver muy pocos remanentes de ovocitos maduros (hembras) o espermatozoides (en machos) bordeando la pared gonadal. Son muy notorios los vasos sanguíneos no ciliados y algunos ciliados hacia la parte dorsal de la gónada (Figura 22).

Hembras: Se pueden observar restos de gránulos de vitelo en el lumen dorsal. La pared gonadal se nota más gruesa que en estadios anteriores. El epitelio germinal es escaso, roto o discontinuo con poca conexión a la pared gonadal (Figura 22A).

Machos: Se observan algunos cúmulos de espermatozoides hacia el lumen dorsal. El epitelio germinal es abundante y continuo con conexión a la pared gonadal (Figura 22B).

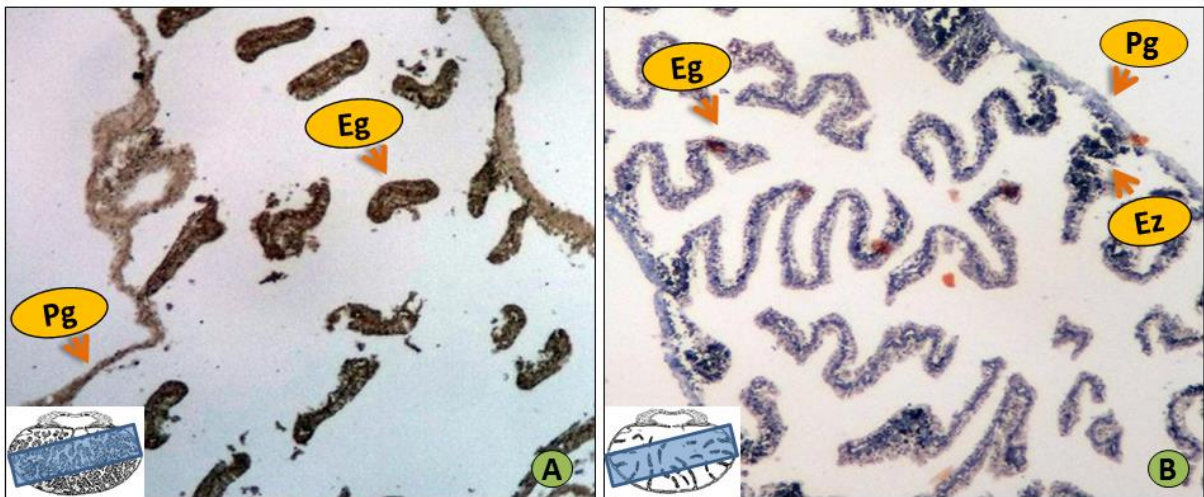


Figura 22. Estadio V-Reposo, del quitón *C. (C.) articulatus*.

La observación corresponde al área marcada por el recuadro en el esquema general de la gónada, parte inferior izquierda. A) gónada de hembra, B) gónada de macho. Eg, epitelio germinal; Ez, espermatozoides; Pg, pared gonadal.

6.5 Ciclo reproductivo

6.5.1 Hembras

Las hembras en estadio de goniogénesis se presentaron de enero a marzo, con frecuencias entre 5.26% y 47.06, y en diciembre con 11.11%. El estadio de desarrollo ocurre únicamente de enero a marzo, con frecuencias de 36.84 a 17.65%. El estadio de madurez se observó a lo largo de todo el año, excepto en enero y febrero, con la mayor frecuencia de abril a junio (100%). El estadio de desove se observó a lo largo de todo el año, excepto en enero y febrero, con la mayor frecuencia de abril a junio (100%). El estadio de desove se observó en enero y marzo, pero con bajas frecuencias (5.88% a 31.58%, respectivamente) y de julio a diciembre, con la más alta frecuencia en noviembre (80%). Finalmente, el estadio de reposo se observó de enero a marzo con frecuencias de 15.79% a 29.41% (Figura 23).

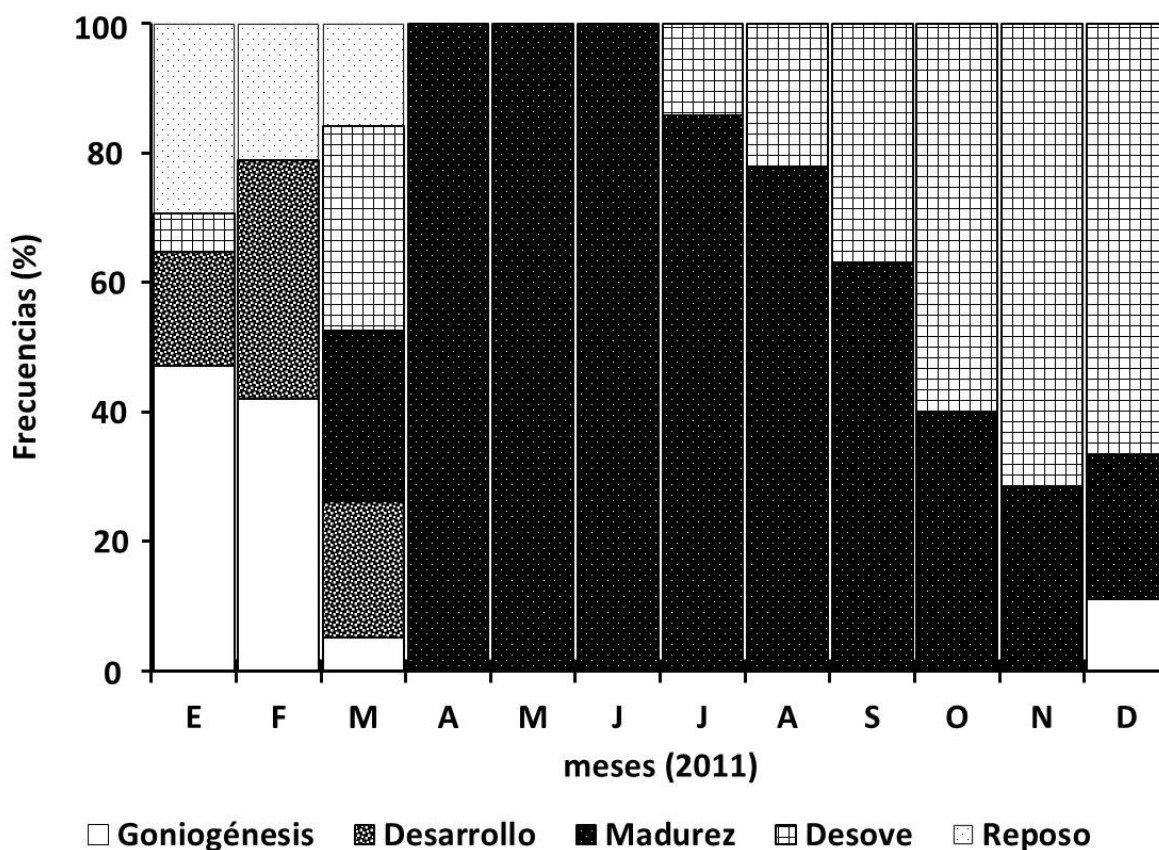


Figura 23. Ciclo reproductivo de hembras del quitón *Chiton (Chiton) articulatus* de Puerto Ángel, Oaxaca.

6.5.2 Machos

En machos, el estadio de goniogénesis se presentó en enero (10%) y febrero (21.43%). Únicamente en marzo se observaron organismos con gónadas en estadio de desarrollo con baja frecuencia (6.25%). El estadio de madurez se observó a lo largo de todo el año, excepto en enero y febrero, con la mayor frecuencia en junio (100%). El desove se observó durante todo el año, excepto en junio, con la mayor frecuencia en diciembre (72.73%). Finalmente, el estadio de reposo ocurrió en enero y febrero (80 y 28.58%) y en noviembre y diciembre (11.76 y 18.18%) (Figura 24).

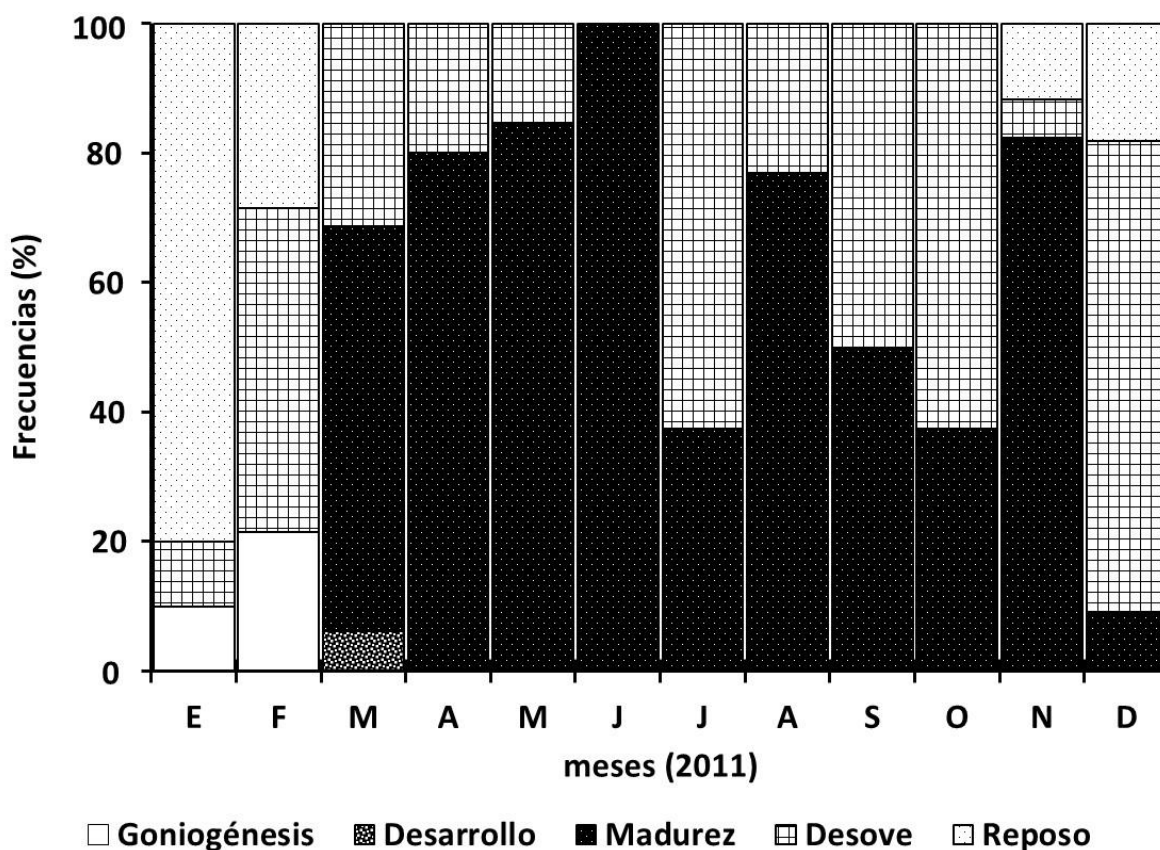


Figura 24. Ciclo reproductivo de machos del quitón *Chiton (Chiton) articulatus* de Puerto Ángel, Oaxaca.

6.5.3 Ambos sexos

El estadio de goniogénesis se presentó en enero, febrero, marzo y diciembre, con frecuencias que van desde los 2.86 a 33.33%. Los organismos con gónadas en desarrollo se observaron de enero a marzo, con frecuencias desde 11.11% hasta 21.21%. El estadio de madurez se observó durante todo el año (excepto en enero y febrero), con frecuencias desde 12.90% en diciembre a 100% en junio. El estadio de desove se observó durante todo el año, excepto en junio, y sus frecuencias fueron más altas a partir de la segunda mitad del año (23.0 a 71.0%). Finalmente, el estadio de reposo sucede de enero a marzo con una frecuencia de 8.57 a 48.15% y en noviembre y diciembre con 6.45 y 12.90% (Figura 25).

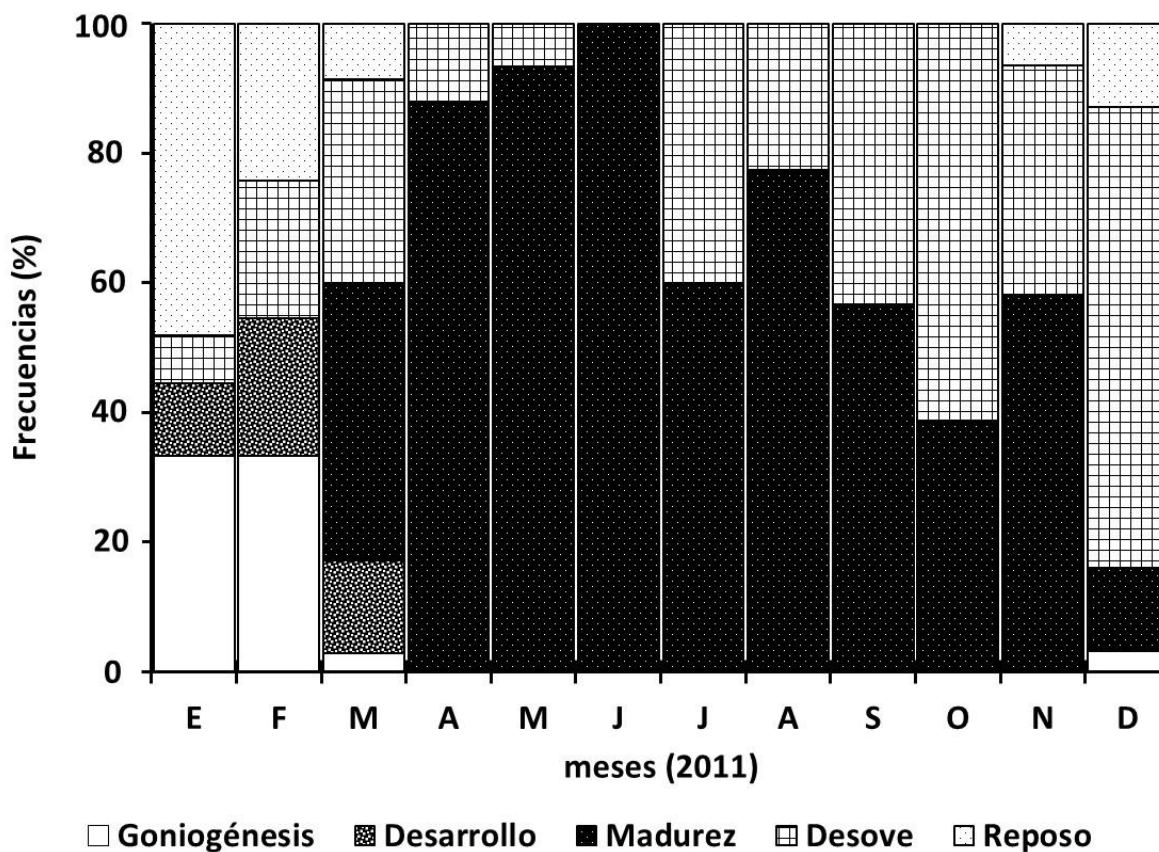


Figura 25. Ciclo reproductivo para ambos sexos del quitón *Chiton (Chiton) articulatus* de Puerto Ángel, Oaxaca.

6.6 Variación del índice gonadosomático

En la figura 26 se muestra la variación del IGS tanto para hembras como para machos y ambos sexos. Se observaron diferencias significativas en los valores del IGS entre meses para hembras ($F_{(11,179)}=30.50$, $p=0.0000$), machos ($F_{(11,179)}=36.04$, $p=0.0000$), y ambos sexos ($F_{(11,370)}=64.10$, $p=0.0000$), a lo largo del año de muestreo. Enero y febrero presentaron los valores más bajos (0.3% y 0.4%, respectivamente) y estos se incrementan a partir de marzo hasta alcanzar el valor más alto en mayo (8.4%), después los valores descendieron hasta alcanzar los valores más bajos en noviembre-diciembre (1.5 y 2.0%, respectivamente), aunque con un ligero incremento en agosto y septiembre (4.5% y 4.9%, respectivamente), el cual fue más evidente en los machos.

6.7 Variación del índice de madurez microscópico

De acuerdo al IMMi, el quitón *Chiton (Chiton) articulatus* presenta el estadio de madurez a lo largo de todo el año, excepto en enero y febrero; mientras que el estadio desove se presentó principalmente en la segunda mitad del año (Figura 27), con picos en enero, febrero y julio, (representado por los machos), octubre (representado para ambos sexos), noviembre (representado por las hembras) y diciembre (representado por los machos).

6.8 Temporada reproductiva

A pesar que el quitón *C. (C.) articulatus* se encuentra en madurez de marzo a diciembre, es en la segunda mitad del año que se observan los periodos de desove, por lo cual la temporada reproductiva (madurez-desove) se considera como una sola temporada continua de seis meses ocurriendo de julio a diciembre (Figura 27).

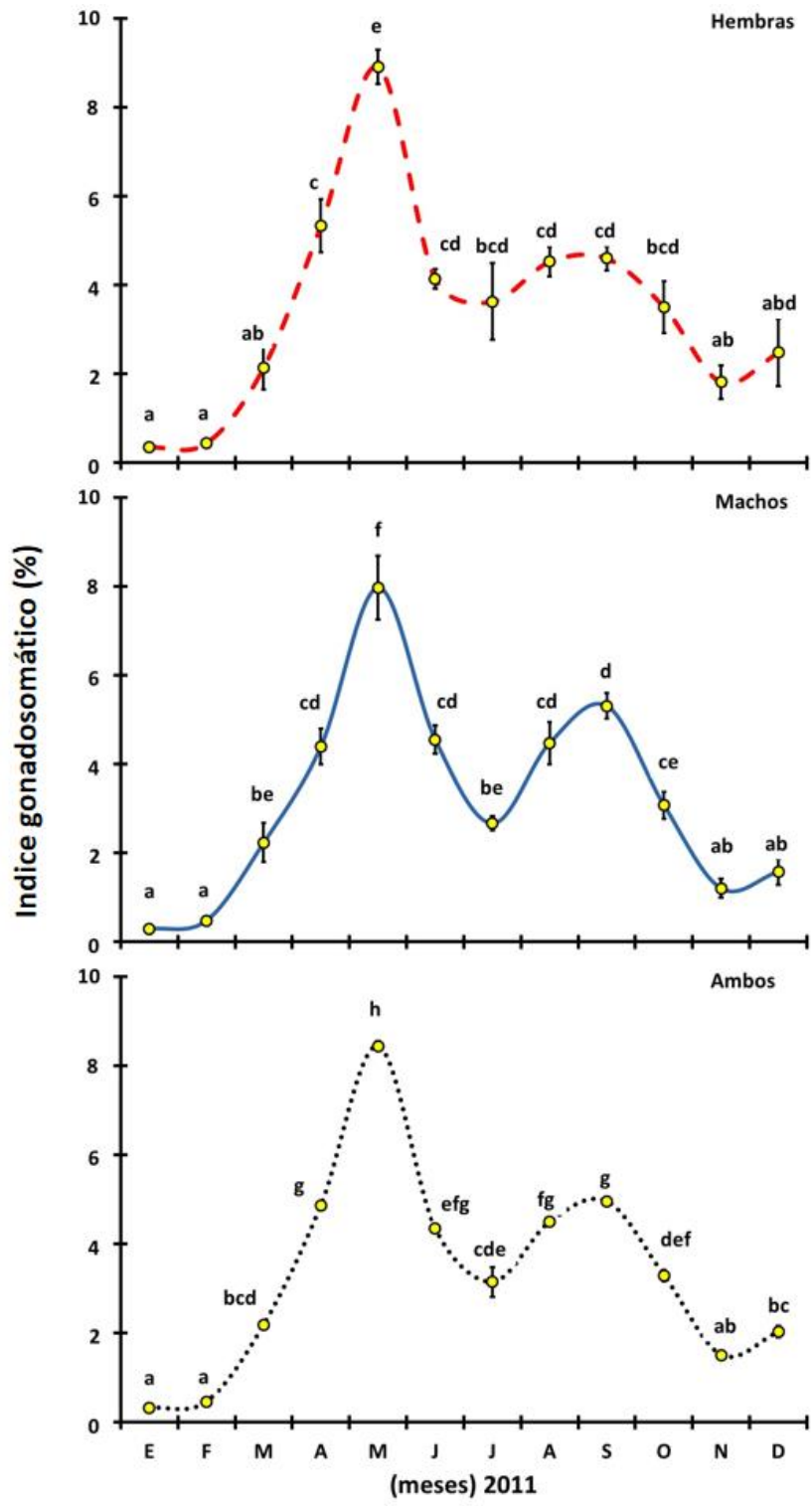


Figura 26. Variación del índice gonadosomático del quitón *Chiton (Chiton) articulatus* de Puerto ángel, Oaxaca. Las letras representan las diferencias significativas entre los valores mensuales ($p < 0.05$). Las barras verticales indican el error estándar.

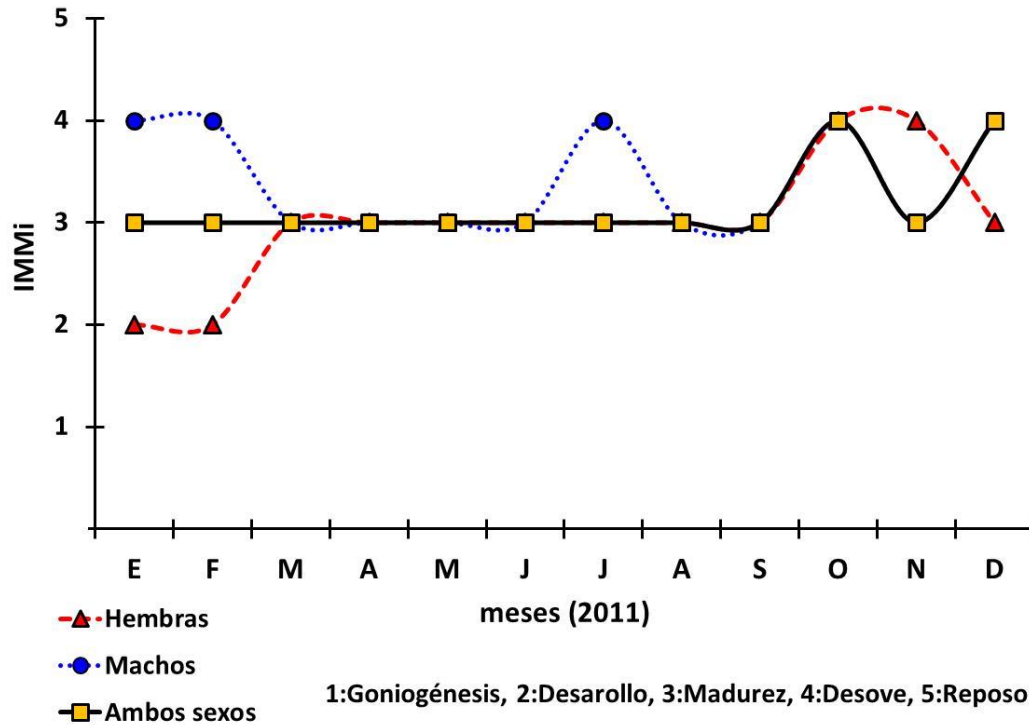


Figura 27. Variación del índice de madurez microscópico en *Chiton (Chiton) articulatus* de Puerto Ángel, Oaxaca.

6.9 Relación de la temporada reproductiva con las variables ambientales

En la figura 28 se muestra la variación de la temperatura superficial del mar, la precipitación pluvial y la irradiancia con relación a las frecuencias de madurez y desove. Durante el periodo de muestreo, la temperatura superficial del mar fue de $28.41 \pm 0.51^\circ\text{C}$ ($\pm\text{DE}$). El valor mínimo (26.1°C) se observó en noviembre y el valor máximo (30.2°C) en mayo y junio. Se observa que a medida que la temperatura aumenta, la frecuencia de organismos en estadio de madurez aumenta y cuando la temperatura disminuye aumenta la frecuencia de organismos en estadio de desove. La relación es más notoria al graficar la radiación solar media y la precipitación pluvial, ya que a la par del aumento de la radiación, de abril a septiembre ($1131.31 \pm 12.47 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$), la proporción de organismos en estadio de madurez es más alta y conforme disminuye la radiación y empieza la temporada de lluvias (abril a octubre con $118.96 \pm 9.24\text{mm}$), los desoves son más frecuentes.

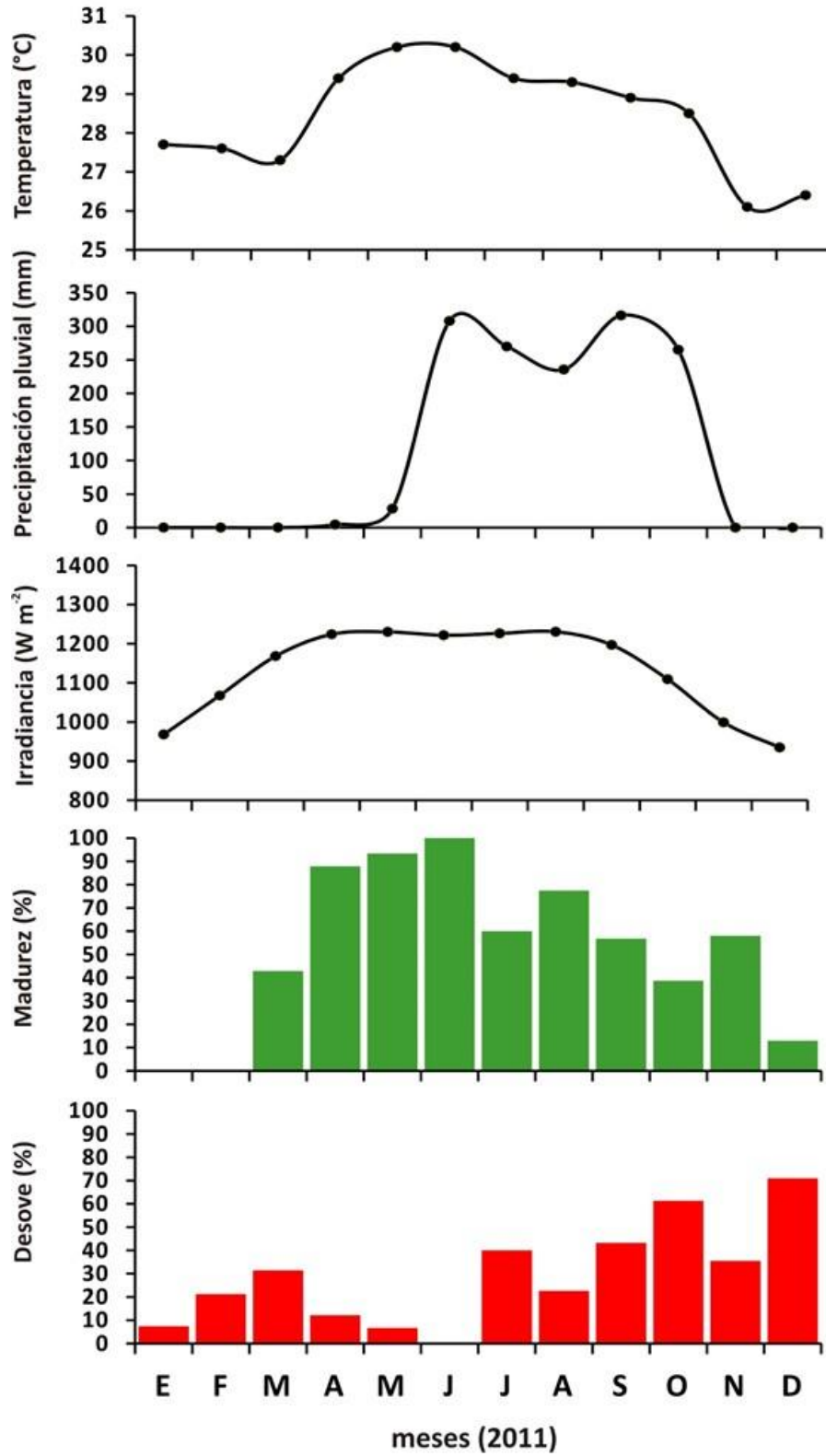


Figura 28. Relación de la temperatura superficial del mar, precipitación pluvial media mensual e irradiancia con la variación de frecuencia de organismos en los estadios de madurez y desove, del quitón *C. (C.) articulatus* de Puerto Ángel, Oaxaca.

6.10 Sexualidad y estrategia reproductiva

La observación microscópica de las gónadas de *C. (C.) articulatus* (n = 382), demuestra que la especie es gonocórica, sin indicios de hermafroditismo casual, y de acuerdo con la secuencia de los estadios de maduración gonádica, la secuencia de la célula sexual femenina, y en particular con el estadio de desove que muestra una evacuación de todos los gametos al medio (quedando las gónadas vacías), se considera que el quitón *C. (C.) articulatus* es un desovador total con desarrollo de gametos sincrónico.

6.11 Proporción de sexos

Se recolectaron un total de 380 organismos, de los cuales 189 fueron hembras (49.7%) y 191 fueron machos (50.0%). Durante todos los meses, la proporción de sexos fue de 1:1. Al aplicar el estadístico de prueba χ^2 , se encontró que no existe diferencia significativa ($p > 0.05$) en la proporción de sexos total, por lo que se mantuvo la proporción 1M: 1H. (Tabla 2).

Tabla 2. Proporción de sexos mensual y total del quitón *Chiton (Chiton) articulatus* de Puerto Ángel, Oaxaca. M-machos, H-hembras, T-total, m-porcentaje de machos, h-porcentaje de hembras, m/h - proporción sexual, χ^2 -Chi cuadrada con corrección de Yates. En ningún caso hubo desviación en la proporción esperada (1:1) ($p > 0.05$).

Mes	Numero			Porcentaje			χ^2	p-valor
	M	H	T	m	h	m/h		
E	11	17	28	39.29	60.71	0.6:1	0.45	0.50
F	14	19	33	42.42	57.58	0.7:1	0.24	0.62
M	16	19	35	45.71	54.29	0.8:1	0.06	0.81
A	20	13	33	60.61	39.39	1.5:1	0.55	0.46
M	11	17	28	39.29	60.71	0.6:1	0.45	0.50
J	16	15	31	51.61	48.39	1:1	0.00	1.00
J	16	14	30	53.33	46.67	1:1	0.02	0.89
A	13	18	31	41.94	58.06	0.7:1	0.26	0.61
S	18	19	37	48.65	51.35	1:1	0.00	1.00
O	16	15	31	51.61	48.39	1:1	0.00	1.00
N	17	14	31	54.84	45.16	1:1	0.06	0.81
D	24	11	35	68.57	31.43	2:1	2.06	0.15
Total	192	191	383	50.13	49.87	1:1	5.61	0.89

6.12 Talla de madurez sexual

Las tallas de madurez sexual ($T_{m50\%}$) estimadas para hembras, machos y de manera combinada, se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3. Valores estimados de $T_{m50\%}$ para el quitón *C. (C.) articulatus* de Puerto Ángel, Oaxaca. Hembras (H), machos (M) y sexos combinados (C) para las diferentes variables morfométricas mediante la función logística sigmoïdal ($y = a \cdot [1 + b \cdot e^{(-cx)}]^{-1}$).

	LT (mm)			LC (mm)			AT (mm)			AC (mm)			PT (g)		
	H	M	C	H	M	C	H	M	C	H	M	C	H	M	C
$T_{m50\%}$	56.0	55.6	55.7	51.7	51.3	51.4	33.7	33.3	33.4	27.5	27.7	26.9	11.7	12.2	11.9
a	1.00	1.02	1.01	1.02	1.05	1.04	1.02	1.01	1.03	1.00	9.97	9.93	9.83	9.94	9.97
b	9.75	1.09	6.00	2.08	2.05	6.87	4.02	3.97	3.20	5.07	4.15	2.02	3.55	4.48	4.30
c	2.46	2.49	2.38	2.35	2.81	2.59	3.81	3.86	3.77	4.76	5.48	5.40	3.07	3.12	3.16
DEE	2.05	1.87	1.65	1.6	2.27	1.80	3.43	2.72	2.63	9.41	2.41	1.72	1.36	2.31	1.04
R	9.99	9.99	9.99	9.99	9.98	9.99	9.96	9.97	9.98	9.99	9.98	9.99	9.99	9.98	9.99

Abreviaturas: LT–longitud total, LC–longitud de la concha, AT–ancho total, AC–ancho de la concha, PT–peso total. a, b, c: constantes del modelo; DEE: desviación estándar del error; R: coeficiente de determinación.

De acuerdo al valor del coeficiente de determinación (R), cuando es cercano a 1 significa que el ajuste es bueno, por lo que las cuatro morfometrías tomadas y el peso total, presentaron un buen ajuste, y pueden ser variables consideradas para obtener la talla de madurez sexual en el quitón *C. (C.) articulatus*.

7 Discusión

Una de las bondades de la técnica de relajación, fijación, conservación y disección de los organismos es que se pueden utilizar todas las estructuras del organismo para otros estudios, por ejemplo, usar el cinturón del manto para la identificación de especies, las placas para estudios de edad y crecimiento, la rádula para estudios médicos debido a la acumulación de minerales como la magnetita (Brooker y Shaw 2012), o el beneficio de tener quitones relajados y bien estirados para estudios morfológicos para la estimación de índices somáticos y reproductivos (Avila-Poveda 2013) y obtener la gónada completa para describir su ontogenia (Avila-Poveda y Abadia-Chanona 2013).

El método utilizado para el establecimiento de los estadios de maduración gonádica, permitió considerar la estructura completa de la gónada y el proceso fisiológico de los gametos, se minimizó el error en la asignación de las EMG que sucede cuando solo se observa una porción de la gónada, de esta manera al realizar una observación panorámica desde la parte ventral a la dorsal de la gónada se tiene una representación de las características de todo el “folículo” (*i.e.*, la totalidad de la gónada).

7.1 Anatomía de la gónada y gametos

La estructura de la gónada del quitón *C. (C.) articulatus* en general se asemeja a la de otras especies de quitones (Plate 1898, Hyman 1967, Selwood 1968, Pearse 1979, Yoshioka 1987, Gaymer *et al.* 2004, Vélez-Arellano 2012). Se ha observado que la presencia de las placas de tejido formado por la invaginación de la pared ventral de la gónada, aumenta la superficie para la formación de gametos y por lo tanto para su producción (Gaymer *et al.* 2004, Avila-Poveda y Abadia-Chanona 2013); esto resulta congruente con lo observado en la gónada de los machos de *C. (C.) articulatus* ya que hubo un mayor número de placas de tejido comparado con el de las hembras. Al haber un mayor número de placas aumenta la superficie para la producción de espermatozoides, dado que los espermatozoides se liberan antes que los óvulos, y que probablemente se disipan rápidamente por la turbulencia del agua en la zona intermareal, por lo que una alta producción de espermatozoides puede aumentar el éxito de la fecundación (Kowalevsky 1879, Hyman 1967, Pearse 1979, Baxter y Jones 1987).

La basofilia y la presencia de un gran número de vacuolas en los ovocitos primarios es característico en los quitones, ya que en las primeras fases de desarrollo son de carácter ácido con

una fuerte afinidad por tintes básicos (Giese *et al.* 1959, Cowden 1961, Aquinas-Nimitz y Giese 1964, Nagabhushanam y Deshpande 1982), esto se debe a la presencia de mucopolisacáridos ácidos, junto con lípidos, contenidos en vesículas que aumentan en número y se dispersan, evidenciando una actividad de transporte intracelular y acumulación de sustancias (Aquinas-Nimitz y Giese 1964).

Los ovocitos secundarios con diámetros de $100\pm 30\ \mu\text{m}$ presentaron un citoplasma que deja de ser vacuolado, y empieza a formarse las plaquetas vitelinas con un característico citoplasma granular. La presencia de plaquetas vitelinas y la disminución de vacuolas son debido a que se acumulan nutrientes en forma de gránulos de vitelo y vesículas de lípidos dispersos por todo el citoplasma (Giese *et al.* 1959). Los ovocitos con folículo ($160\pm 30\ \mu\text{m}$ de diámetro) son característicos por poseer un citoplasma acidófilo y se encuentran en su mayoría llenos de vitelo. Alrededor del ovocito se desarrollan revestimientos extracelulares de mucopolisacáridos y proteínas, excretados por las células foliculares y por el propio ovocito, que tienen forma de pequeñas prolongaciones citoplasmáticas, las cuales indican el comienzo de la formación del casco del ovocito (“egg hull”).

Cuando los ovocitos se encuentran maduros las prolongaciones citoplasmáticas comienzan a incrementar su longitud, estas estructuras recubren al ovocito funcionando como si fuera un corion y se caracteriza por presentar proyecciones conspicuas en forma de cúpulas, tazas, conos, aletas o espinas (Eernisse y Reynolds 1994, Sotil-Caycho 2004, Buckland-Nicks y Brothers 2008, Buckland-Nicks y Reunov 2009).

La morfología de las proyecciones varía entre especies por lo que esta característica se utiliza como un carácter taxonómico exclusivo para poliplacóforos (Eernisse y Reynolds 1994, Sirenko 1998, Buckland-Nicks y Brothers 2008). Las prolongaciones del casco del ovocito en los miembros de la familia Chitonidae pueden ser en forma de cúpula, taza o cono (Eernisse y Reynolds 1994, Buckland-Nicks y Brothers 2008). La función del casco del ovocito no es clara, sin embargo, se piensa que las prolongaciones aumentan la superficie del ovocito facilitando así el intercambio de gases (Cowden 1961), mejoran la flotación en la columna de agua (Buckland-Nicks y Brothers 2008, Rebolledo y Emler 2015), disuaden a los depredadores, evitan que los huevos sean aplastados cuando ya se encuentran en un ambiente externo a la gónada, mantienen a los huevos unidos al sustrato (Eernisse 1988, Buckland-Nicks 1993), o sirven como una forma de atracción de espermatozoides para la fertilización (Buckland-Nicks 1993).

El diámetro de los ovocitos maduros vitelogénicos ($200\pm 15\mu\text{m}$ de diámetro, sin prolongaciones) de *C. (C.) articulatus* es similar a casi todas las especies de poliplacóforos, que por lo general tienen un tamaño de 150-300 μm (Pearse 1979, Strathmann y Eernisse 1987, Vélez-Arellano *et al.* 2014). De acuerdo con las observaciones realizadas con la técnica de microscopía electrónica de barrido, las prolongaciones de los ovocitos maduros resultaron ser similares a las características descritas para la especie *Chiton virgulatus*, ya que en la parte apical de la prolongación se asemeja a la forma de un tridente, que conforme crece va tomando un aspecto globoso (Vélez-Arellano *et al.* 2014). Esta característica podría indicar que es una forma representativa para el género *Chiton*, sin embargo, es necesario realizar más estudios de los ovocitos maduros de *C. (C.) articulatus* con microscopía electrónica de barrido y de transmisión para poder comparar con los ovocitos de *C. virgulatus*. Si las características llegaran a ser diferentes se podría reconocer que son características propias de la especie o de lo contrario propias del género (Eernisse y Reynolds 1994).

7.2 Ciclo reproductivo y temporada reproductiva

Generalmente los ciclos reproductivos de los Poliplacóforos son anuales, con periodos estacionales (temporada reproductiva) definidos en función de la especie y de la latitud (Giese *et al.* 1959, Himmelman 1978, Pearse 1978, Yoshioka 1987). Incluso en organismos de la misma especie, se ha llegado a observar variaciones en los periodos de desove que están influenciados por las condiciones específicas de cada zona, como por ejemplo *C. cumingsii* de Lima Perú, donde se observó que los machos presentan dos periodos de desove, mientras que las hembras solo exhiben un desove anual (Sotil-Caycho 2004).

Para el caso de *C. (C.) articulatus* son tres los estudios que han evaluado la temporada reproductiva con diferentes metodologías (índices reproductivos, índices somáticos y análisis histológico). Para los quitones de la costa del estado de Guerrero, Rojas-Herrera (1988) indicó que los valores más altos del índice gonadosomático fueron de junio a agosto, mientras que Ramírez-Álvarez (2013) con histología de la gónada reportó que la temporada reproductiva (madurez y desove) es de julio a septiembre, por lo que ambos estudios se complementan indicando que para esa zona *C. (C.) articulatus* solo muestra una temporada reproductiva al año de junio a septiembre (Tabla 4).

Para la población de quitones en Oaxaca, Avila-Poveda (2013) mediante índices somáticos y reproductivos encontró los valores más altos de los índices en mayo y agosto-septiembre sugiriendo picos de madurez, lo cual se complementa con los posteriores picos de desove observados en este estudio en julio (machos) y octubre-noviembre-diciembre (hembras y machos). Lo anterior resalta que *C. (C.) articulatus* de Puerto Ángel, Oaxaca presenta una sola temporada reproductiva (madurez-desove), intensa a partir de la segunda mitad del año (julio a diciembre). Lo anterior indica que la temporada reproductiva para la población de quitones en Oaxaca y Guerrero tiene un patrón reproductivo similar (Tabla 4).

Tabla 4. Comparación de temporadas reproductivas (madurez-desove) del quitón *Chiton (Chiton) articulatus*.

Estado	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	referencia	método	año de muestreo
Guerrero, 16° 50' N						M	M	M					Rojas-Herrera (1988)	IGS	1984-1985
						M	M		M				Ramirez-Alvarez (2013)	Histología	2010-2011
								D	D				Ramirez-Alvarez (2013)	Histología	2010-2011
Oaxaca, 15° 39' N					M			M	M				Avila-Poveda (2013)	IGS	2011
					M			M	M				Este estudio	Histología/IGS	2011
						D				D	D	D	Este estudio	Histología/IMMi	2011

M= pico de madurez, D = pico de desove.

A pesar que *C. (C.) articulatus* es una especie que se encuentra en el intervalo de latitud tropical, las temporadas reproductivas reportadas para los quitones en Guerrero y Oaxaca varían ligeramente, esto se podría atribuir o dos cuestiones: 1) al método utilizado para la observación de los estadios o, 2) a los factores ambientales de cada localidad. Para este último, se sabe que los factores ambientales, principalmente la temperatura superficial del mar muestra una fuerte influencia con los ciclos y temporadas reproductivas (Giese y Pearse 1974), por lo que incrementos y decrementos regulan la actividad reproductiva, a su vez, el aumento de la temperatura estimula la maduración de los gametos (Glynn 1970, Himmelman 1978, 1979, Pearse 1978, Yoshioka 1987, Ishiyama 1995, Sotil-Caycho 2004, Barbosa *et al.* 2009) así como la intensidad y duración de los desoves (Glynn 1970, Himmelman 1979, Yoshioka 1989, Barbosa *et al.* 2009).

En la costa de Oaxaca son pocos los estudios sobre biología reproductiva, no obstante, se han realizado trabajos con especies de equinodermos tales como en la estrella de mar *Pharia*

pyramidatus (Benítez-Villalobos y Martínez-García 2012), los ofiuros *Ophiocoma aethiops* y *O. alexandri* (Benítez-Villalobos *et al.* 2012), y el pepino de mar *Holothuria fuscocinerea* (Benítez-Villalobos *et al.* 2013), los cuales han mostrado una temporada reproductiva anual alrededor de verano (junio a septiembre) que corresponde a la temporada de lluvias y cuando la temperatura disminuye; mostrando un patrón similar al quitón *C. (C.) articulatus*.

Diversos autores concuerdan que la sincronía en los desoves de las distintas especies de una misma zona geográfica pueden estar influenciados por factores físicos y biológicos relacionados con las señales del ambiente, así como los mecanismos endógenos que regulan el reloj biológico de cada organismo (Pearse 1968, Giese y Pearse 1974, Soong *et al.* 2005). En este estudio se encontró que el aumento de la temperatura (valor máximo 30.2°C) coincide con la frecuencia de organismos en estadio de madurez (100%), y al disminuir (29.4°C) aumenta la frecuencia de organismos en estadio de desove (noviembre y diciembre). Esta relación se complementa al comparar los datos de las frecuencias del estadio madurez y desove con los valores de la radiación solar media y precipitación pluvial, ya que al aumento de la radiación (principio de abril a septiembre, con $1131.31 \pm 12.47 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$), la proporción de organismos en estadio de madurez es más alta, y conforme la radiación disminuye y la temporada de lluvias es más intensa (junio a octubre con $118.96 \pm 9.24 \text{ mm}$) son más evidentes los desoves.

A pesar que Puerto Ángel es una zona con clima cálido sub-húmedo con lluvias durante el verano (mayo a octubre), los cambios mínimos en la temperatura pueden influir directamente en la temporada reproductiva. Conforme a lo anterior se asume que la temporada reproductiva de *C. (C.) articulatus* se encuentra influenciada principalmente por la temperatura superficial del mar, que se relaciona con la intensidad de la radiación y al inicio de la época de lluvias. De igual forma se observaron desoves a lo largo del ciclo reproductivo; este comportamiento es común en especies que habitan zonas más tropicales y más cercanas al ecuador (Giese y Pearse 1974). En consecuencia, varias especies de regiones tropicales muestran una sola temporada reproductiva durante el año, como ocurre en *Acanthopleura haddoni* (Pearse 1969) y *A. granulata* (Glynn 1970), incluso en especies con una amplia distribución geográfica (Giese y Pearse 1974, Pearse 1978), o cuando las condiciones ambientales son favorables (Giese y Pearse 1974), por lo que *C. (C.) articulatus* mostró solo una temporada reproductiva con desoves constantes durante todo el año.

Otra de las evidencias que sugieren una relación directa de la temperatura con la temporada reproductiva para esta especie, fue que se observaron desoves en los meses enero y febrero, cuando se esperaba no hubieran; esto se puede atribuir a un cambio drástico en la temperatura superficial del mar de diciembre 2010 (25.0°C) a enero 2011 (27.7°C), ya que en los meses de noviembre y diciembre 2010 la temperatura fue baja comparada con los años 2009 y 2011 para los mismos meses, que normalmente oscila entre los 26 a 27.5°C (ver anexo 12), este aumento en la temperatura posiblemente provocó un desove facultativo en *C. (C.) articulatus*.

El comportamiento de desove anticipado o facultativo se ha documentado en distintas especies de moluscos (Thompson 1977, Brousseau 1987, Jaramillo y Navarro 1995, Arellano-Martínez *et al.* 2004), indicando que puede ser inducido en respuesta por una combinación de factores internos y ambientales, cuya interacción puede variar estacionalmente, produciendo variaciones anuales en inicio e intensidad de los desoves (Thompson 1977, Jaramillo y Navarro 1995) y si las condiciones ambientales son favorables (Brousseau 1987, Arellano-Martínez *et al.* 2004). Sin embargo, es necesario realizar más estudios que abarquen al menos dos años de muestreo para comprobar si este comportamiento es común en *C. (C.) articulatus* o fue debido al cambio en la temperatura o por otros factores.

Por otro lado, se observó que los machos tienen un proceso de desarrollo mucho más rápido que las hembras, ya que el estadio de desarrollo solo fue evidente en marzo y en baja frecuencia (6.25%), atribuyendo que los machos pueden ser los desencadenantes del inicio de la madurez. Esto ya ha sido reportado en quitones por diversos autores, indicando que los machos maduran más pronto y liberan el esperma antes que las hembras para estimularlas a la madurez (Kowalevsky 1879, Hyman 1967, Pearse 1979, Baxter y Jones 1987, Strathmann y Eernisse 1987). Lo antes mencionado sumado a lo observado en junio (donde el 100% de los organismos se encontraban en el estadio madurez), se asume que el quitón *C. (C.) articulatus* de la zona de estudio presenta una fuerte sincronía entre sexos, lo que es esencial para el desove con el fin de garantizar el éxito reproductivo (Mercier y Hamel, 2009). La sincronía entre sexos también fue evidente en la estrella de mar *Pharia pyramidatus*, evidenciando una estrecha relación con la dinámica oceánica local (Benítez-Villalobos y Martínez-García 2012).

7.3 Sexualidad, proporción de sexos y estrategia reproductiva

Durante las observaciones de la gónada, en este estudio no se encontraron indicios de hermafroditismo, por lo que el quitón *C. (C.) articulatus* presenta sexos separados, coincidiendo con otros autores que mencionan que los moluscos poliplacóforos son gonocóricos (Glynn 1970, Ishiyama 1995, Eernisse 2007). Sin embargo, la coloración de la gónada es un indicio de dimorfismo sexual interno. Asimismo, cuando la tonalidad de la gónada es más opaca o blanca indica que el organismo aún se encuentra en una etapa sub-juvenil o juvenil (Glynn 1970, Pearse 1979).

Respecto a la diferenciación sexual, se ha reportado que *C. (C.) articulatus* se diferencia entre los 16.08–24.34 mm de LT y la talla inicial de madurez sexual (T_{im}) se presenta a los 17 mm en machos y 32 mm en hembras (Avila-Poveda y Abadia-Chanona 2013); además, el desarrollo de los gametos de *C. (C.) articulatus* es sincrónico, y la secuencia de los estadios de maduración gonádica indica que es un desovador total, ya que al momento del desove (estadio IV-desove) se observan muy pocos gametos en la gónada y estos están ubicados solo en la parte dorsal; el proceso continua hasta que la gónada queda completamente vacía (estadio V-Reposo).

Por otro lado, la proporción de sexos para el quitón *C. (C.) articulatus* durante todo el periodo de muestreo fue de 1:1, lo cual concuerda con lo reportado en Playa Jaramillo y Las Brisas, Guerrero, aunque con una mayor proporción de machos solo en septiembre en la zona rocosa de Playa Jaramillo (Ramírez-Álvarez 2013). Estos datos difieren con lo reportado por Rojas-Herrera (1988) para esta misma especie en Acapulco, Guerrero, quien encuentra una proporción significativamente más alta de machos (1.99 M: 1 H). Por su parte Vélez-Arellano (2012) para *Chiton virgulatus* de la localidad de El Califín y Balandra, Baja California Sur, encontró una proporción de 1:1 en total de la muestra anual, y solo para el caso de Balandra se encontraron más machos que hembras en agosto y junio 2010, en coincidencia con las altas frecuencias de desoves.

A pesar que la proporción sexual de *C. (C.) articulatus* se mantiene en 1:1, los machos desovan antes que las hembras, lo cual indicaría que en Puerto Ángel existe una estabilidad ecológica en el ambiente. Sin embargo, se ha sugerido que una preponderancia de machos puede ser común en especies intermareales que emiten sus gametos al medio (Glynn 1970, Cruz y Sotela 1984, Sakker 1986, Ishiyama *et al.* 1994, Sotil-Caycho 2004, Barbosa *et al.* 2009). Para esta población de quitones no se encontró un mayor número de machos respecto al de las

hembras, no obstante se observó que de enero a marzo, los machos estaban en proceso de desove, lo cual indica que los machos expulsan grandes cantidades de esperma para contrarrestar la dilución de espermatozoides causada por la alta turbulencia en la zona del intermareal rocoso, como parte de su estrategia para asegurar la fecundación.

Además, se ha demostrado que los desoves se encuentran influenciados por una alta producción primaria asociada con la extensa esorrentía producida por la precipitación pluvial, que aumenta el suministro de nutrientes al océano (Birkeland 1982, Hamel *et al.* 1993, Asha y Muthiah 2008, Granja-Fernández y López-Pérez 2008). Esto a su vez, aumenta la producción de fitoplancton en la columna de agua que proporciona una fuente importante de alimento para las larvas (Strathmann *et al.* 1992), favoreciendo su supervivencia. Adicionalmente, durante este período los organismos adultos se benefician de esta abundancia orgánica, ya que el detritus que se utiliza como alimento se enriquece con la deposición de productos del plancton y materia orgánica que alcanza el sustrato en un corto período (Hamel *et al.* 1993, Asha y Muthiah 2008), lo que podría ser el reflejo de una de las estrategia utilizada por *C. (C.) articulatus*, para realizar los desoves en temporada de lluvias.

Modelos predictivos con respecto a la fecundidad establecen que si la comida es escasa, el éxito reproductivo disminuye para las especies en el que su estrategia implica pequeño tamaño del huevo, mientras que aumenta cuando el tamaño del huevo es más grande. Sin embargo, cuando la disponibilidad de alimentos es alta, el éxito reproductivo es alto incluso para especies con tamaño de huevo pequeño (McEdward y Miner 2003). Asimismo, en temporada de lluvias, la dispersión de los gametos es mayor evitándose la polispermia, y al tener un desove prolongado facilita la fertilización de los huevos contrarrestando la dilución en la zona, estas condiciones podrían ser algunas causas por las cuales la población de *C. (C.) articulatus* no recurre a una distribución diferencial por sexos, manteniendo la proporción 1:1, de la misma manera como sucede en otras especies de la costa de Oaxaca (Benítez-Villalobos y Martínez-García 2012, Benítez-Villalobos *et al.* 2012, Benítez-Villalobos *et al.* 2013).

7.4 Talla de madurez sexual

Si se compara la T_{im} de 40 mm LT estimada por Rojas-Herrera (1988) con la T_{im} estimada en 32 mm LT para hembras (Avila-Poveda y Abadia-Chanona 2013) podemos suponer que se están capturando quitones en un estadio subadulto (Figura 29). Al capturar organismos antes de alcanzar la talla adulta durante un periodo prolongado, ocasionaría que los organismos en la población inicien su maduración sexual en tallas menores con lo que alcanzarían más rápido la talla de madurez sexual, lo cual podría ser el resultado de la presión pesquera. Holguin-Quiñones (2006), ha señalado que las poblaciones de *C. (C.) articulatus* en las costas de Jalisco y Colima están disminuyendo debido a diversos factores, entre ellos la mortalidad natural ocasionada por la alteración del hábitat, la depredación y la extracción inmoderada, que aunque no constituye una pesca organizada, ha mermado las poblaciones especialmente en los individuos de tallas mayores a los 60 mm.

Distintos autores reportan las tallas máximas que pueden alcanzar el quitón *C. (C.) articulatus*. Keen (1971) reporta que los ejemplares adultos de *C. (C.) articulatus* alcanzan longitudes entre 50 y 100 mm; Poutiers (1995) menciona valores entre 70 y 100 mm; Reyes-Gómez (1999), a partir de una revisión de ejemplares de la Colección Nacional de Moluscos, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), reporta ejemplares de hasta 73.7 mm de LT, por su parte Holguín-Quiñones y Michel-Morfín (2002) con base a los resultados de un estudio realizado en las islas Revillagigedo, Colima, registraron organismos de longitudes hasta de 108.0 mm, mientras que Flores-Campaña *et al.* (2007), en la Bahía de Mazatlán reportan una longitud de hasta 86.8 mm.

En el Estado de Guerrero, Galeana-Rebolledo *et al.* (2007), reporta para la Playa Ventura, Copala, una talla máxima de 48.9 mm; mientras que Flores-Garza *et al.* (2011) en Playa Majahua, Galeana-Rebolledo *et al.* (2012), en el sitio Tlacopanocha y Torreblanca-Ramírez *et al.* (2012) en el sitio Parque de la Reina, determinaron una longitud máxima de 42.06 mm; por su parte Flores-Garza *et al.* (2012b), determinaron en siete sitios de la Región Marina Prioritaria No. 32 (Acapulco), una longitud de hasta 50.74 mm. Para el Estado de Oaxaca, Flores-Rodríguez *et al.* (2014) en la localidad de Carrizalillo, Coral y Punta Cometa, reporta una longitud total de 57.7 mm., y para este trabajo las tallas máximas encontradas fueron de 60 mm de LT.

De acuerdo a lo anterior es evidente que a lo largo del tiempo ha habido una disminución en la longitud total reportada para *C. (C.) articulatus*, y varía entre los 80 a 60 mm de longitud total. Holguin-Quiñones y Michel-Morfín (2002) indican que existe un decremento en la abundancia y densidad de los individuos, por lo que la captura del recurso sin regulación podría estar ocasionando esta disminución, y al disminuir el recurso repercutirá en mayor o menor grado en un aumento del esfuerzo pesquero, así como en la modificación de la estructura, dinámica y ensamble de especies de la zona intermareal (León-Herrera *et al.* 2009, García-Ibáñez *et al.* 2013, Bernabé-Moreno *et al.* 2015).

Según Avila-Poveda y Abadia-Chanona (2013) los quitones menores de 40 mm LT no se consideran adultos sino subadultos que aún no entran a un ciclo reproductivo como tal; por lo cual, si se mantiene la talla promedio de captura real (36.15 mm LT) establecida por Rojas-Herrera (1988) se podría afectar en mayor medida a la población en el sentido de que se estarían extrayendo subadultos evitando que lleguen a su estado reproductivo óptimo como adultos (Stearns 2000), y repercutir en una baja densidad poblacional (Holguin-Quiñones y Michel-Morfín 2002).

Por otra parte, la $T_{m50\%}$ estimada en este estudio para los sexos combinados (55.72 mm LT), se acerca a la talla óptima de captura (59.54 mm LT) propuesta por Rojas-Herrera (1988) (Figura 29). De acuerdo a los resultados en este estudio se considera que la talla mínima de captura se debe establecer alrededor de la talla óptima de captura propuesta por Rojas-Herrera (1988) y que se valida histológicamente con el presente estudio, lo cual daría a esta especie el beneficio de un mayor tiempo para crecer y reproducirse, y de esta forma repercutirá en una mayor fecundidad y una producción de crías de mayor calidad (Stearns 2000). Por lo anterior, se espera que este trabajo otorgue las bases que permitan tomar decisiones para proponer una talla mínima de captura, y al usar distintas morfometrías para la estimación de la talla de madurez sexual se dan más opciones para establecer tallas mínimas de captura facilitando la toma de datos en campo.

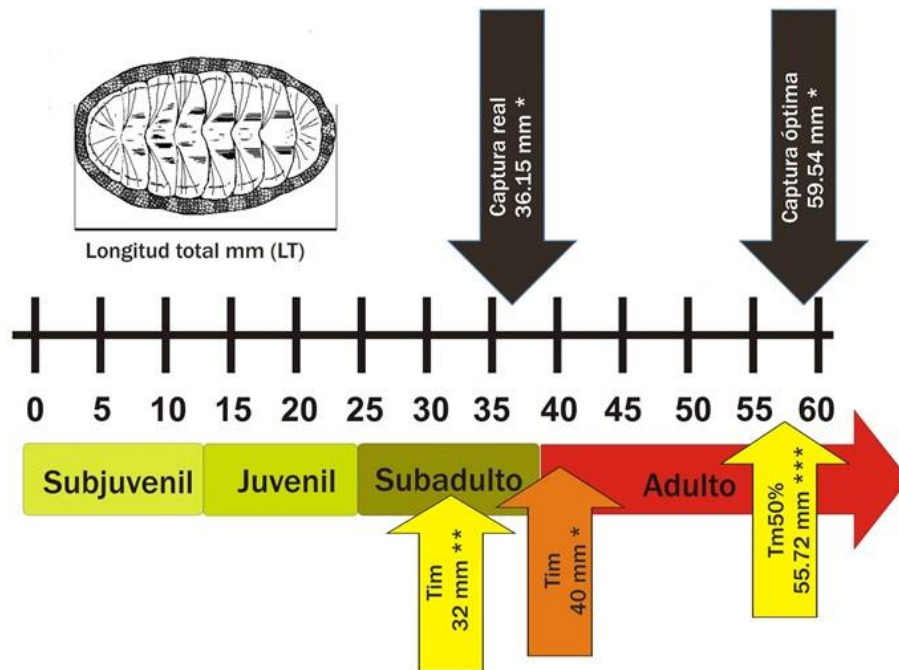


Figura 29. Esquema representativo de la talla inicial de madurez sexual (T_{im}) y talla de madurez sexual ($T_{m50\%}$) de *Chiton (Chiton) articulatus*, a lo largo de los estadios de vida.

* Rojas-Herrera 1998, ** Avila-Poveda y Abadia-Chanona 2013, *** presente estudio.

8 Conclusiones

La falta de estudios directos sobre la biología reproductiva del quitón *C. (C.) articulatus* han dificultado su inclusión en la Carta Nacional Pesquera, así como plantear medidas de regulación acordes a su ciclo reproductivo y temporada reproductiva que permitan el uso racional y sustentable de este recurso comunitario para todo el Pacífico tropical mexicano, por lo que en esta tesis se dan algunas bases biológicas reproductivas para esta especie indicando que, *C. (C.) articulatus* produce gametos de manera sincrónica y los ovocitos maduros presentan el casco que recubre al ovocito (“egg hull”) que es característico de los poliplacóforos; asimismo este quitón es un desovador total, pues expulsa todos los gametos al medio quedando la gónada completamente vacía.

El sitio de estudio corresponde a una localidad tropical, por lo que *C. (C.) articulatus* se reproduce durante todo el año, sin embargo los procesos oceánicos locales tales como surgencias y la diferencia notable entre la temporada de lluvias y secas (Tapia-García *et al.* 2007, Trasviña y Barton 1997), determinan el ciclo y temporada reproductiva, mostrando que el estadio madurez, ocurre principalmente al término de la temporada de secas, mientras que el desove en temporadas de lluvias, con desove facultativo en enero y febrero, no obstante la mayor actividad reproductiva (madurez y desove) ocurre en la segunda mitad del año; mientras que la proporción sexual total para esta especie en el año de muestro fue de 1:1 por lo que no se encontró una distribución diferencial por sexos.

Por otra parte, la $T_{m50\%}$ estimada en este estudio para los sexos combinados fue de 55.72 mm LT, que se acerca a la talla óptima de captura (59.54 mm LT) propuesta por Rojas-Herrera (1988). De acuerdo a los resultados en este estudio se considera que la talla mínima de captura se debe establecer alrededor de la talla óptima de captura propuesta por Rojas-Herrera (1988) y que se valida histológicamente con el presente estudio. El uso de distintas morfometrías para la estimación de la talla de madurez sexual proporciona más opciones para establecer tallas mínimas de captura facilitando la toma de datos en campo.

Finalmente, el método de relajación, fijación, conservación y disección resultó ser muy útil para mantener quitones relajados en su forma original para análisis morfológicos, y obtener la gónada compacta sin pérdida de la estructura para el análisis histológico. Para poder establecer los estadios de maduración gonádica es necesario realizar una observación panorámica en un corte transversal de la gónada.

9 Recomendaciones

- ✓ Se recomienda que en estudios posteriores sobre el desarrollo de la gónada, ciclo y temporada reproductiva en quitones, se empleen los métodos propuestos para la obtención de muestras, así como la forma de observación de la gónada, ya que considera la anatomía y proceso desarrollo de los gametos. Esto permitirá una óptima comparación entre estudios.
- ✓ Realizar trabajos que abarquen al menos dos años de muestreo, para observar si existen variaciones en el ciclo reproductivo a lo largo de un tiempo más prolongado.
- ✓ Realizar análisis bioquímicos sobre la alimentación para esta especie, con el fin de establecer sus hábitos alimenticios y entender el origen de su principal fuente de energía, que le permite al quitón soportar los requerimientos fisiológicos.
- ✓ Realizar estudios en condiciones controladas de laboratorio para evaluar el efecto preciso de la temperatura y la disponibilidad de alimento en la reproducción de esta especie, y así, sentar bases para un cultivo a escala comercial.
- ✓ Analizar el ciclo reproductivo de *C. (C.) articulatus* a lo largo de su área de distribución, así como en zonas con diferentes impactos pesqueros, para determinar si son stocks diferentes y poder establecer medidas regulatorias.
- ✓ Para evitar la extracción de organismos en emisión de gametos (desove) y que los pescadores expongan su vida en su captura, se sugiere una veda de julio a diciembre.
- ✓ Se propone una talla mínima de captura de 60 mm LT, es decir alrededor de la talla óptima de 59.54 mm LT propuesta por Rojas-Herrera (1998) y validada en este estudio por histología.

10 Referencias

- Anderson A (1969) Oocyte-follicle cell differentiation in two species of Amphineurans (Mollusca), *Mopalia mucosa* and *Chaetopleura apiculata*. *Journal Morphology*, 129: 89–125.
- Aquinas-Nimitz SM, Giese AC (1964) Histochemical changes correlated with reproductive activity and nutrition in the chiton, *Katharina tunica*. *Quarterly Journal of Microscopical Science*, 105: 481–495 [Renombrada como: *Journal of Cell Science*].
- Arellano-Martínez M, Ceballos-Vázquez BP, Villalejo-Fuerte M, García-Domínguez F, Elorduy-Garay JF, Esliman-Salgado A, Racotta IS (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(2):723-729.
- Asha PS, Muthiah P (2008) Reproductive biology of the commercial sea cucumber *Holothuria spinifera* (Echinodermata: Holothuroidea) from Tuticorin, Tamil Nadu, India. *Aquaculture International*, 16: 231–242.
- Avila-Poveda OH (2013) Annual change in morphometry and in somatic and reproductive indices of *Chiton articulatus* adults (Mollusca: Polyplacophora) from Oaxaca, Mexican Pacific. *American Malacological Bulletin*, 31:65–74.
- Avila-Poveda OH, Abadía-Chanona QY (2013) Emergence, development, and maturity of the gonad of two species of Chitons “Sea Cockroach” (Mollusca: Polyplacophora) through the early life stages. *Plos One* 8(8): e69785.doi:10.1371/journal.pone.0069785.
- Barbosa SS, Byrne M, Kelaher BP (2009) Reproductive periodicity of the tropical intertidal chiton *Acanthopleura gemmata* at one tree island, Great Barrier Reef, near its southern latitudinal limit. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 89: 405–411.
- Barnes JR (1972) Ecology and reproductive biology of *Tonicella lineata* (Wood, 1815) (Mollusca-Polyplacophora). Ph.D. Dissertation, Oregon State University, Corvallis, Oregon p. 89.
- Barrientos-Luján NA, Alejo-Plata MC (2001) Pesca artesanal de moluscos en la costa chica de Oaxaca, México. En: Correa-Sandoval, A. (Ed), *VIII reunión nacional de malacología y*

- conquiliología* (RENAMAC). Ciudad Victoria, Tamaulipas, Mexico. Septiembre, 25–28. [Resumen 58].
- Baxter JM, Jones AM (1987) Observation on the spawning of *Callochiton achatinus* (Brown, 1827) (Mollusca: Polyplacophora). *Journal of Molluscan Studies*, 53: 114–115.
- Benítez-Villalobos F, Aguilar-Duarte C, Avila-Poveda OH (2012) Reproductive biology of *Ophiocoma aethiops* and *O. alexandri* (Echinodermata: Ophiuroidea) from Estacahuite Bay, Oaxaca, Mexico. *Aquatic Biology*, 17: 119–128.
- Benítez-Villalobos F, Martínez-García M (2012) Reproductive biology of the starfish *Pharia pyramidatus* (Echinodermata: Asteroidea) from the Mexican tropical Pacific. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 92: 1409–1418.
- Benítez-Villalobos F, Avila-Poveda OH, Gutiérrez-Méndez IS (2013) Reproductive biology of *Holothuria fuscocinerea* (Echinodermata: Holothuroidea) from Oaxaca, Mexico. *Sexuality and Early Development Aquatic Organisms*, 1: 13–24.
- Bernabé-Moreno E, García-Ibáñez S, Nieto-Navarro JT, Flores-Garza R, Flores-Rodríguez J, Violante-González J, Olea-de-la-Cruz FG (2015) Parámetros poblacionales y estimación de tallas de *Chiton articulatus* (Sowerby, 1832) en Acapulco, Guerrero, México. En: Sosa-Ávalos R, Verduzco-Zapata MG (Ed.) *Estudios acuícolas y marinos en el Pacífico mexicano*. Universidad de Colima, Colima, Mexico. pp. 176–190.
- Birkeland C (1982) Terrestrial runoff as a cause of outbreaks of *Acanthaster planci* (Echinodermata: Asteroidea). *Marine Biology*, 69: 175–185.
- Brooker LR, Shaw JA (2012) The *Chiton radula*: A unique model for biomineralization studies, advanced topics in biomineralization. En: Seto, J. (Ed.), *Advanced Topics in Biomineralization*. In Tech China, Shanghai, pp. 65–84.
- Brousseau DJ (1987) A comparative study of the reproductive cycle of the soft-shell clam, *Mya arenaria* in Long Island Sound. *Journal of Shellfish Research*, 6:7–15.
- Buckland-Nicks J (2014) SEM Analysis of marine invertebrate gametes. Chapter 8. En: Carroll, DJ, Stricker SA (Eds.) *Developmental biology of the sea urchin and other marine invertebrates, methods in molecular biology*. Springer Science Business Media. New York. p. 125–145.
- Buckland-Nicks J, Brothers E (2008) On fertilization in *Chaetopleura apiculata* and selected Chitonida. *Biological Bulletin*, 214(2):184–193.

- Buckland-Nicks J, Eernisse DJ (1993) Ultrastructure of mature sperm and eggs of the brooding hermaphroditic Chiton, *Lepidochitona fernaldi* Eernisse 1986, with special reference to the mechanism of fertilization. *Journal Experimental Zoology*, 265:567–574.
- Buckland-Nicks J, Reunov A (2009) Ultrastructure of hull formation during oogenesis in *Rhyssoplax tulipa* (= *Chiton tulipa*) (Chitonidae: Chitoninae). *Invertebrate Reproduction and Development*, 53(3): 165–174.
- Bullock RC (1988) The genus Chiton in the New World (Polyplacophora: Chitonidae). *The Veliger*, 31: 141–191.
- Clessin S (1904) Die Familie Chitonidae. En: Küster HC, Kobelt W (Eds.) Systematisches Conchylien-Cabinet, *Bauer & Raspe (Emil Küster)*, Germany, p. 125.
- Coe WR (1944) Sexual differentiation in Mollusk. II. Gastropods, Amphineurans, Scaphopods, and Cephalopods. *Quarterly Review of Biology*, 19: 85–97.
- Connors MJ, Ehrlich H, Hog M, Godeffroy C, Araya S, Kallai I, Gazit D, Boyce M, Ortiz C (2012) Three-dimensional structure of the shell plate assembly of the chiton *Tonicella marmoreal* and its biomechanical consequences. *Journal Structural Biology*, 177: 314–328.
- Cowden RR (1961) A cytochemical investigation of oögenesis and development to the swimming larval stage in the chiton, *Chiton tuberculatum* L. *Biological Bulletin*, 120: 313–325.
- Crossmon G (1937) A modification of Mallory's connective tissue stain with a discussion of principles involved. *Anatomical Records*, 69:33–38.
- Cruz R, Sotela A (1984) Contribución a la biología de *Chiton stokesii* (Polyplacophora: Chitonidae) de Punta Pochote, Puntarenas, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 32: 61–68.
- Currie DR (1990) Reproductive periodicity of three species of Chitons at a site in New South Wales, Australia (Mollusca: Polyplacophora). *Invertebrate Reproduction and Development*, 17:25–32.
- Díaz de León J (1910) Mollusca. Catalogus Molluscarum Maxicanae Reipublicee hucusque descripta. *La Naturaleza, Periódico científico del museo nacional de historia natural y de la sociedad mexicana*, 1: 93–139.
- Eernisse DJ (1988) Reproductive patterns in six species of *Lepidochitona* (Mollusca: Polyplacophora) from the Pacific Coast of North America. *Biological Bulletin*, 174: 287–302.

- Eernisse DJ (2007) Chitons. En: Denny MW, Gaines SD (Eds), *Encyclopedia of tidepools and rocky shores*, University of California Press, Berkeley, California, pp. 127–133.
- Eernisse DJ, Clark RN, Draeger A (2007) Polyplacophora. En: Carlton JT (ed) *Light and Smith Manual: Intertidal Invertebrates from Central California to Oregon*, 4th Ed. University of California Press, Berkeley, California, pp 701–713.
- Eernisse DJ, Reynolds PD (1994) Polyplacophora. En: Harrison FW, Kohn AJ (Eds), *Microscopic anatomy of invertebrates Vol. 5 Mollusca I*, Wiley-Liss Inc., New York, p. 55–110.
- Fischer-Piette E, Franc A (1960) Classe des Polyplacophores. En: Grassé PP (Ed), *Traité de Zoologie. Anatomie, Systématique, Biologie, Tome V.*, Masson, Paris, pp. 1053–2219.
- Flores-Campaña LM, González-Montoya MA, Ortiz-Arellano MA, Arzola-González JF (2007a) Estructura poblacional de *Chiton articulatus* en las islas Pájaros y Venados de la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 78: 23S–31S.
- Flores-Campaña LM, Ortiz-Arellano MA, Arzola-González JF, González-Medina FJ, Cortez-Acosta E, Rodríguez-García D (2007b) Los quitones de las islas de la costa de Sinaloa, México. En: Ríos-Jara E, Esqueda-González MC, Galván-Villa CM (Eds), *Estudios sobre malacología y conchiliología en México*, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, pp. 43–45.
- Flores-Campaña LM, Arzola-González JF, Jiménez-Díaz O, León-Herrera R (2012) Estimación del potencial pesquero de *Chiton articulatus* Sowerby, 1832, en las islas de la Bahía de Mazatlán, Sinaloa. En: Universidad Autónoma de Sinaloa “U.A.S.”, *La investigación científica, tecnológica y social en la U.A.S. (PROFAPI 2008)*, Culiacán, Sinaloa, pp. 89–98.
- Flores-Garza R, Torreblanca-Ramírez C, Flores-Rodríguez P, García-Ibáñez S, Galeana-Rebolledo L, Valdés-González A, Rojas-Herrera AA (2011) Mollusc community from a rocky intertidal zone in Acapulco, México. *Biodiversity*, 12(3): 144–153.
- Flores-Garza R, García-Ibáñez S, Flores-Rodríguez P, Torreblanca-Ramírez C, Galeana-Rebolledo L, Valdés-González A, Suástegui-Zárata A, Violante-González J (2012a) Commercially important marine mollusks for human consumption in Acapulco, México. *Natural Resources*, 3:11–17.
- Flores-Garza R, Galeana-Rebolledo L, Reyes-Gómez A, García-Ibáñez S, Torreblanca-Ramírez C, Flores-Rodríguez P, Valdés-González A (2012b) Polyplacophora species richness,

- composition and distribution of its community associated with the intertidal rocky substrate in the marine priority región No. 32 in Guerrero, México. *Open Journal of Ecology*, 2(4): 192–201.
- Flores-Rodríguez P (2004) Estructura de la comunidad de moluscos del mesolitoral superior en playas de facie rocosa del estado de Guerrero, México. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, 125 p.
- Flores-Rodríguez P, Flores-Garza R, García-Ibáñez S, Torreblanca-Ramírez C, Galeana-Rebolledo L, Santiago-Cortes E (2014) Mollusks of the rocky intertidal zone at three sites in Oaxaca, Mexico. *Open Journal of Marine Science*, 4: 326–337.
- Galeana-Rebolledo L, Suástegui-Herrera MA, Torales-Gutiérrez G, Millán-Román CA, García-Ibáñez S, Flores-Garza R, Flores-Rodríguez P, Arana-Salvador DG (2007) Estudio de la población del *Chiton articulatus* Sowerby, 1832 en Playa Ventura, Copala, Guerrero, como un recurso de importancia comercial. En: Ríos-Jara E, Esqueda-González MC, Galván-Villa CM (Eds), *Estudios sobre la malacología y conchiliología en México*, Universidad de Guadalajara, Zapopan, pp. 193–195.
- García-Ibáñez S, Flores-Garza R, Flores-Rodríguez P, Arana-salvador DG (2009) La cucaracha de mar. *Chiton articulatus* Sowerby, 1832. *Sinergia, Revista de divulgación científica y tecnológica*, 2:10–13.
- García-Ibáñez S, Flores-Garza R, Flores-Rodríguez P, Arana-salvador DG (2012a) los quitones o cucarachas de mar (Mollusca: Polyplacophora): una perspectiva de su diversidad biológica y manejo sostenible. *Revista FOMIX Guerrero*, 1:17–22.
- García-Ibáñez S, Flores-Rodríguez P, Flores-Garza R, Violante-González J, Olea-de-La-Cruz FG, Valencia Santana FJ (2012b) Análisis del efecto de la presencia/ausencia del carnívoro *Plicopurpura pansa* (Patellogastropoda: Muricidae) sobre el herbívoro *Chiton articulatus* (Chitonida: Chitonidae), en Acapulco, Guerrero, México. *Tlamati Sabiduria*, 4:6–13.
- García-Ibáñez S, Flores-Garza R, Flores-Rodríguez P, Violante-González J, Valdés-González A, Olea-de-la-Cruz FG (2013) Diagnóstico pesquero de *Chiton articulatus* (Mollusca: Polyplacophora) en Acapulco, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 48:293–302.

- Gaymer CF, Guisado C, Brokordt KB, Himmelman JH (2004) *et al.* Gonad structure and gamete morphology of the Eastern South Pacific chitón *Acanthopleura echinata* Barnes, 1824. *The veliger*, 47: 141–152.
- Giese AC, Tucker JS, Booloottian RA (1959) Annual reproductive cycles of the chitons, *Katherina tunicata* and *Mopalia hindsii*. *Biological Bulletin*, 117:81–88.
- Giese AC, Pearse JS (1974) Introduction: general principles. En: Giese AC, Pearse JS (Eds), *Reproduction of marine invertebrates, Vol I*, Academic Press, New York, pp. 1–49.
- Glynn PW (1970) On the ecology of the Caribbean chitons *Acanthopleura granulata* Gmelin and *Chiton tuberculatus* Linné: density, mortality, feeding, reproduction, growth. *Smithsonian Contributions to Zoology*, 66: 1–21.
- Granja-Fernández MR, López-Pérez RA (2008) Sedimentación en comunidades arrecifales de Bahía de Huatulco, Oaxaca, México. *Revista de Biología Tropical*, 56(3): 1179–1187.
- Gray P (1954) *The Microtomist's formulary and guide*. The Blakiston Company, New York, 796 p.
- Gutiérrez M (1967) Coloración histológica para ovarios de peces, crustáceos y moluscos. *Investigación Pesquera*, 31: 265–271 [Renombrada como: *Scientia Marina*].
- Hamel JF, Himmelman JH, Dufresne L (1993) Gametogenesis and spawning of the sea cucumber *Psolus fabricii* (Duben and Koren). *Biological Bulletin*, 184: 125–143.
- Heath H (1908) The gonad in certain species of chitons. *Zoologischer Anzeiger*, 32:10–12.
- Higley RM, Heath H (1912) The development of the gonad and gonoducts in two species of chitons. *Biological Bulletin*, 22:95–97.
- Himmelman JH (1975) Phytoplankton as a stimulus for spawning in tree marine invertebrates. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 20:199–214.
- Himmelman JH (1978) The reproductive cycle of *Katharina tunicata* Wood and its controlling factors. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 31: 27–41.
- Himmelman JH (1979) Factors regulating the reproductive cycle of two northeast Pacific chitons. *Tonicella lineata* and *T. insignis*. *Marine Biology*, 50:215–222.
- Hoffmann H (1931) Beiträge zur kenntnis der Chitonen. I Uber die fortpflanzung und entwicklung von *Trachydermon cinereus* L. *Zeitschrift für Morphologie und Ökologie der Tiere* 20(4):719–732 [En Alemán].

- Holden MJ, Raitt DFS (1975) Manual de ciencia pesquera parte 2. Métodos para investigar los recursos y su aplicación. FAO, Roma.
- Holguín-Quiñones OF, Michel-Morfín JE (2002) Distribution, density and length-weight relationship of *Chiton articulatus* Sowerby, 1832 (Mollusca-Polyplacophora) on Isla Socorro, Revillagigedo Archipelago, Mexico. *Journal of Shellfish Research*, 21:239–241.
- Holguín-Quiñones OF (2006) Moluscos bentónicos de interés económico y potencial de las costas de Michoacán, Colima, y Jalisco, México, p. 121–130. En: Jiménez-Quiroz MC, Espino-Barr E (Eds), *Los recursos pesqueros y acuícolas de Jalisco, Colima y Michoacán*, SAGARPA.
- Hyman LH (1967) The invertebrates: Mollusca I Vol VI. McGraw-Hill, United State of America, 792 p.
- Ishiyama VC, Shiga B, Huamán P (1994) Reproducción *Enoplochiton niger* (Mollusca, Polyplacophora) de la playa de San Bartolo, Lima, Perú. *Boletín de Lima*, XVI (91-96): 69–74).
- Ishiyama VC (1995) Reproducción del *Chiton cumingsii* (Polyplacophora, Chitonidae) de la Bahía de Ancón, Lima. *Boletín de Lima*, 100:203–210.
- Iuarte C, Liuzzi MG, Centurión R (2010) Egg hull morphology in two chitons (Polyplacophora) from the Southwestern Atlantic Ocean. *Malacologia*, 53: 167–174.
- Jaramillo R, Navarro J (1995) Reproductive cycle of the Chilean ribbed mussel *Aulacomya ater* (Molina, 1982). *Journal Shellfish Research*, 14:165–171.
- Kazanidis G, Lolas A, Vafidis D (2014) Reproductive cycle of the traditionally exploited sea cucumber *Holothuria tubulosa* (Holothuroidea: Aspidochirotida) in Pagasitikos Gulf, western Aegean Sea, Greece. *Turkish Journal of Zoology*, 38, 306–315.
- Keen AM (1971) Sea shells of tropical West America, Stanford University Press, Palo Alto, 1064 p.
- Kowalevsky A (1879) Ueber der Entwicklung der chitonon. *Zoologischer Anzeiger*, 2: 469–473.
- Lammi J (2013) Cálculo de fotoperiodo. http://www.tutiempo.net/silvia_larocca/Temas/fotoperiodo.htm (Consultado mayo 2012).
- León-Herrera MG (2000) Listado taxonómico de las especies de moluscos en la zona central del litoral Oaxaqueño. *Ciencia y Mar*, 12:49–51

- León-Herrera R, Jiménez-Díaz O, Arzola-González JF, Elías-Castro S, Flores-Campaña LM (2009) Distribución de tallas de *Chiton articulatus* (Sowerby 1832) y *Chiton albolineatus* (Broderyp y Sowerby 1829) en las tres islas de la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Encuentro nacional para la conservación y el desarrollo sustentable de las islas de México*, Ensenada, Baja California, México. Junio 23-26 [Presentación oral: 42].
- Martínez R, López-Ripoll E, Avila-Poveda OH, Santos-Ricalde R, Mascaró M, Rosas C (2011) Cytological ontogeny of the digestive gland in post-hatching *Octopus maya*, and cytological background of digestion in juveniles. *Aquatic Biology*, 11:249–261.
- Martoja R, Martoja-Pierson M (1967) Initiation aux techniques de l'histologie animale, Paris, Masson, p. 345 [En Francés]
- Matthews FGC (1956) The breeding behavior, embryology and larval ecology of *Lepidochitona cinereus* (L.). PhD thesis, University of London.
- McEdward LR, Miner BG (2003) Fecundity-time models of reproductive strategies in marine benthic invertebrates: fitness differences under fluctuating model environmental conditions. *Marine Ecology Progress Series*, 256: 111–121
- Melo V, Quirino T, Macín S, García M, Calvo C, Miramontes B (2011) The *Chiton articulatus* source of minerals for human health. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 23:490–494.
- Meneghetti F, Moschino V, Da Ros L (2004) Gametogenic cycle and variations in oocyte size of *Tapes philippinarum* from the Lagoon of Venice. *Aquaculture*, 240:473–488.
- Mercier A, Hamel JF (2009) Endogenous and exogenous control of gametogenesis and spawning in echinoderms. *Advances in Marine Biology*, 55: 1–302.
- Murti KG, Nagabhushanam R (1968) Observations on the spawning and reproductive cycle of *Chiton granoradiatus* Leloup. Broteria. *Natural Science Series*, 37:223–233.
- Nagabhushanam R, Deshpande UD (1982) Reproductive cycle of the *Chiton Chiton iatricus* and environmental control of its gonad growth. *Marine Biology*, 67:9–13.
- Nagabhushanam R, Murti KG (1968) Studies on the development of *Chiton granoradiatus* Leloup. Broteria, *Natural Science Series*, 37:209.
- Nimitz MA (1964) The histology and histochemistry of the chitón *Katherina* in relation to the reproductive cycle. PhD. Thesis, Stanford University, Stranford, California.
- Olea-de-la-Cruz FG, García-Ibáñez S, Flores-Garza R, Flores-Rodríguez P, Valdés-González A, Arana-Salvador D, Bernabé-Moreno IE (2011) Comparative study of the use of sea

- cockroach *Chiton articulatus* Sowerby in Broderip & Sowerby, 1832 (Mollusca: Polyplacophora) in Acapulco, Guerrero, Mexico. 44th, Western Society of Malacologists Annual Meeting, and 12th National Biennial Meeting of Malacology and Conchology of the Sociedad Mexicana de Malacología, A.C. La Paz, Baja California Sur, México, [Presentación oral].
- Olea-de-la-Cruz FG, García-Ibáñez S, Flores-Garza R, Flores-Rodríguez P, Rojas-Herrera AA (2013) Pesca, oferta y demanda de la cucaracha de mar *Chiton articulatus* (Mollusca: Polyplacophora) en aguas de la zona costera del estado de Guerrero, México. *Ciencia Pesquera*, 21:69–81.
- Ortiz, N. (2013) Validation of macroscopic maturity stages of the Patagonian red octopus *Enteroctopus megalocyathus*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 93:833–842.
- Patent DH (1969) The reproductive cycle of *Gorgonocephalus caryi* (Echinodermata: Ophiuroidea). *Biological Bulletin*, 136:241–252.
- Pearse JS (1969) Reproductive periodicities of Indo-Pacific invertebrates in the Gulf of Suez. II. The echinoid *Echinometra mathaei* (de Blainville). *Bulletin Marine Science*, 19:580–613.
- Pearse JS (1978) Reproductive periodicities of Indo-Pacific invertebrates in the Gulf of Suez. IV. The chitons *Acanthopleura haddoni* Winckworth and *Onithochiton lyelli* (Sowerby), and the abalone *Haliotis pustulata* Reeve. *Bulletin of Marine Science*, 28:92–101.
- Pearse JS (1979) Polyplacophora. En: Giese AC and Pearse JS (Eds), *Reproduction in Marine Invertebrates Vol. 5 Molluscs: Pelecypods and Lesser Classes*. Academic Press, New York, pp. 27–85.
- Plate LH (1898) Die anatomie und phylogenie der chitonen. *Zoologische Jahrbücher Supplement*, 4: 1–243 (In Germany).
- Plate LH (1902a) Die anatomie und phylogenie der chitonen. *Zoologische Jahrbücher Supplement*, 5: 15–216 (In Germany).
- Plate LH (1902b) Die anatomie und phylogenie der chitonen. *Zoologische Jahrbücher Supplement*, 5: 281–600 (In Germany).
- Poutiers JM (1995) Quitones (Anfineuros, loricados, polioplacóforos). En: Fischer W, Krupp F, Schneider W, Sommer C, Carpenter KE, Niem VH (Eds), *Guía FAO para la identificación*

de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental; Plantas e Invertebrados Vol. I. Roma, pp. 300–304.

- Ramírez C, García-Ibáñez S, Violante-González J, Flores-Garza R, Flores-Rodríguez P, Torres MG, García FA (2015) Análisis preliminar de la relación entre factores endógenos de *Chiton articulatus* y exógenos del litoral de Acapulco, Guerrero. En: Sosa-Ávalos R, Verduzco-Zapata MG (Ed.) *Estudios acuícolas y marinos en el Pacífico mexicano*. Universidad de Colima, Colima, Mexico. pp. 215–231.
- Ramírez-Álvarez C (2013) Ciclo reproductivo de *Chiton articulatus* Sowerby en Broderip y Sowerby, 1832 (Mollusca: Polyplacophora) en Acapulco, Guerrero, México. Tesis de licenciatura, Unidad Académica de Ecología Marina, Universidad Autónoma de Guerrero, Guerrero, 72 p.
- Ramírez-Álvarez C, Vélez-Arellano N, García-Domínguez F, García-Ibáñez S, Ituarte C (2013) Hermaphroditism in two populations of *Chiton articulatus* (Mollusca: Polyplacophora) from the Eastern tropical coast of Mexico. *Invertebrate Reproduction and Development*, 58: 49–52.
- Ramirez-Llodra E (2002) Fecundity and life-history strategies in marine invertebrates. *Advances in Marine Biology*, 43: 87–170.
- Rebolledo AP, Emler RB (2015) The parachute function of the hull in eggs of *Mopalia kennerleyi* (Chitonida: Mopaliidae), and swimming of its larvae through ontogeny. *Invertebrate Biology*, 134(1): 31–37.
- Reyes-Gómez A (1999) Sistemática de los quitones (Mollusca: Polyplacophora) de la colección nacional de moluscos del instituto de biología UNAM. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, 186 p.
- Reyes-Gómez A (2004) Chitons in Mexican waters. *Bolletín Malacológico, Suppl.*, 5: 69–82.
- Reyes-Gómez A, Barrientos-Lujan NA, Medina-Bautista J, Ramírez-Luna S (2010) Chitons from the coralline area of Oaxaca, Mexico (Polyplacophora). *Bolletín Malacológico*, 46:111–125.
- Reyes-Gómez A, Salcedo-Vargas MA (2001) Riqueza faunística de la clase polyplacophora en México. En: Correa-Sandoval A (Eds), *VIII reunión nacional de malacología y*

- conquiliología (RENAMAC)*. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. Septiembre 25–28 [Resumen].
- Reyes-Gómez A, Salcedo-Vargas MA (2002) The recent mexican chiton (Mollusca: Poliplacophora) species. *The Festivus*, 34:17–27.
- Richter HP, Götting KJ (1974) Oogenese und sexualität der käferschnecke *Lepidochitona cinereus* (Mollusca, Polyplacophora). *Helgoländer wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 26:42–62 [En Alemán].
- Richter PH (1986) Ultrastucture of follicular epithelia in the ovary of *Lepidochitona cinérea* (L.) (Mollusca:Polyplacophora). *Development Growth and Differentiation*, 28: 7–16.
- Ríos-Jara E, Pérez-Peña M, López-Uriarte E, Enciso-Padilla I, Juárez-Carrillo E (2006) Biodiversidad de moluscos marinos de la costa de Jalisco y Colima, con anotaciones sobre su aprovechamiento en la región. En: Jiménez-Quiroz MC, Espino-Barr E (Eds), *Los recursos pesqueros y acuícolas de Jalisco, Colima y Michoacán*. SAGARPA, pp. 103–120.
- Rojas-Herrera AA (1988) Análisis biológico-pesquero de la cucaracha de mar (*Chiton articulatus* Sowerby 1832) de Acapulco, Guerrero, México. En: *Memorias IX Congreso Nacional de Zoología, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y Sociedad Mexicana de Zoología*, 13-16 octubre 1987. Villahermosa, Tabasco. pp. 151–156.
- Sakker ER (1984) Sperm morphology, spermatogenesis and spermiogenesis of three species of chitons (Mollusca, Polyplacophora). *Zoomorphology*, 104: 111–121.
- Sakker ER (1986) Seasonal reproduction cycles of three Australian species of chitons (Mollusca: Polyplacophora). *Invertebrate Reproduction and Development*, 10:1–16.
- Scarano A, Ituarte CF (2009) First report of a case of occasional hermaphroditism in Polyplacophora. *Journal of Molluscan Studies*, 75:91–92.
- Schwabe E (2010) Illustrated summary of chiton terminology (Mollusca, Polyplacophora). *Spixiana*, 33(2): 171–194.
- Schwabe E (2015) *Chiton (Chiton) articulatus* Sowerby in Broderip & Sowerby, 1832. World Register of Marine Species. <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=386193> (consultado en abril 2015).
- Selwood L (1968) Interrelationships between developing oocytes and ovarian tissues in the chiton *Sypharochiton septentriones* (Ashby) (Mollusca, Polyplacophora). *Journal of Morphology*, 125:71–103.

- Selwood L (1970) The role of the follicle cells during oogenesis in the chitón *Sypharochiton septentriones* (Ashby) (Polyplacophora, Mollusca). *Zeitschrift für Zellforschung und Mikroskopische Anatomie*, 104:178–192. [Continua como: *Cell and Tissue Research*]
- Sewell MA (1992) Reproduction of the temperate Aspidochirote *Stichopus mollis* (Echinodermata: Holothuroidea) in New Zealand. *Ophelia*, 35:103–121. [Continua como: *Marine Biology Research*].
- Simroth H (1892–1894) Chapters Polyplacophora, Amphineura and Scaphopoda. En: Bronns HG (1892–1894) Klassen und Ordnungen des Tierreichs. Band 3, Mollusca. Abteilung 1, Amphineura und Scaphopoda.
- Sirenko B (1998) Relict settlement of the chitón *Lepidochitona cinérea* Mollusca, Polyplacophora in northern Norway. *Archive of Fishery and Marine Research*, 46(2):139–149.
- Smith AG (1966) The larval development of chitons (Amphineura). *Proceedings of the California Academy of Sciences*, 32:433–446.
- Soliman FE, Hussein MA, Almaraghy A, Habib T (1996) Population structure and growth curve of *Acanthopleura gemmata* (Mollusca: Polyplacophora) in the northwestern Red Sea. *Qatar University Science Journal*, 16: 307–314.
- Somerton DA (1980) A computer technique for estimating the size of sexual maturity in crabs. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37: 1488–1494.
- Soong K, Chang D, Chao SM (2005) Presence of spawninducing pheromones in two brittle stars (Echinodermata: Ophiuroidea). *Marine Ecology Progress Series*, 292: 195–201
- Sotil-Caycho GE (2004) Variación estacional de la madurez gonadal y oógeneses de *Chiton cumingsii* Fremby, 1827 de Bahía Ancón, Lima-Perú. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú, 63 p.
- Stearns SC (1992) The evolution of life histories. Oxford University Press, Oxford.
- Stearns SC (2000) Life history evolution: successes, limitations, and prospects. *Naturwissenschaften*, 87:476–486.
- Strathmann MF, Eernisse DJ (1987) Capítulo X: Phylum Mollusca, Class Polyplacophora. En: Strathmann MF (Ed), Reproduction and development of marine invertebrates of the Northern Pacific Coast. Data and methods for the study of eggs, embryos, and larvae. University of Washington Press, pp. 205–219.

- Strathmann RR, Fenaux L, Strathmann MF (1992) Heterochronic developmental plasticity in larval sea urchins and its implications for evolution of nonfeeding larvae. *Evolution*, 46: 972–986
- Tapia-García M, García-Abad MC, Carranza-Edwards A, Vázquez-Gutiérrez F (2007) Environmental characterization of the continental shelf of the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Geofísica Internacional*, 46:249-260.
- Thompson RJ (1977) Blood chemistry, biochemical composition, and annual reproductive cycle of the giant scallop, *Placopecten magellanicus*, from southeast Newfoundland. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 34:2104-2116.
- Torreblanca-Ramírez C, Flores-Garza R, Flores-Rodríguez P, García-Ibáñez S, Galeana-Rebolledo L (2012) Riqueza, composición y diversidad de la comunidad de moluscos asociada al sustrato rocoso intermareal de la playa Parque de la Reina, Acapulco, México. *Revista de Biología Marina y Oceanología*, 47(2):283–294.
- Trasviña A, Barton ED (1997) Los ‘Nortes’ del Golfo de Tehuantepec: La circulación costera inducida por el viento, Cap 2. En: Lavín MF (ed) Contribuciones a la oceanografía física en México, *Monografía No. 3. Unión Geofísica Mexicana, Ensenada*, Mexico. pp 25–46.
- Valencia-Santana FJ, García-Ibáñez S, Flores-Rodríguez P, Flores-Garza R, Rojas-Herrera A, Olea F (2015) Indicadores ecológicos de *Plicopurpura pansa* (Gould, 1853) y *Chiton articulatus* (Sowerby, 1832) con relación al sustrato y oleaje en Acapulco, Guerrero. En: Sosa-Ávalos R, Verduzco-Zapata MG (Ed.) *Estudios acuícolas y marinos en el Pacífico mexicano*. Universidad de Colima, Colima, México. pp. 251–268.
- Veléz-Arellano N, Shibayama M, Ortiz-Ordoñez E, Silva-Olivares A, Arellano-Martínez M, García-Domínguez F (2014) Histological description of oogenesis in *Chiton virgulatus* (Mollusca: Polyplacophora). *International Journal of Morphology*, 32(2):608–613.
- Villegas-Maldonado S, Neri-García E, Flores-Garza R, García-Ibáñez S, Flores-Rodríguez P, Arana-Salvador DG (2007) Datos preliminares de la diversidad de moluscos para el consumo humano que se expenden en Acapulco, Guerrero. En: Ríos-Jara E, Esqueda-González MC, Galván-Villa CM (Eds), *Estudios sobre malacología y conchiliología en México*, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México. pp. 57–59.
- Yakovleva IV (1952) Histogenesis of the sturgeon thyroid gland and the hypophysis with special reference to the larva stage of development. Thesis. Leningrad.

- Yates F (1934) Contingency tables involving small numbers and the X^2 test. *Journal of the Royal Statistical Society, Suppl.*, 1:217–235.
- Yoshida M (1952) Some observations on the maturation of the sea urchin, *Diadema setosum*. *Annotationes Zoologicae Japonenses*, 25:265–271 [Renombrada como: *Zoological Science*].
- Yoshioka E (1987) Annual reproductive cycle of chiton *Acanthopleura japonica*. *Marine Biology*, 96(3):371–374.
- Yoshioka E (1989) Experimental analysis of the diurnal and tidal spawning rhythm in the chiton *Acanthopleura japonica* (Lischke) by manipulating conditions of light and tide. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 133:81–91.
- Zar JH (2010) *Biostatistical Analysis*, 5ta ed., Prentice Hall, New Jersey, p. 944.

11 Anexos

Anexo 1. Preparación del fijador glutaraldehido 2.5%

Glutaraldehido 25% (10 ml)

Solución amortiguadora de Sorensen (90 ml)

Preparación de solución amortiguadora de Sorensen

Na₂HPO₄ (2.84 g) Agua destilada (100 ml) [Solución A]

NaH₂PO₄H₂O (2.76 g) Agua destilada (100 ml) [Solución B]

40.5 ml Solución A + 9.5 ml Solución B = 50 ml + 50 ml de agua bidestilada

Anexo 2. Preparación de la resina epóxica EPON 812

Preparación de 50 ml de solución final

Solución A = 5.74 ml Epón 812 + 9.25 ml DDSA

Solución B = 18.51 ml Epón 812 + 16.48 ml NMA

Solución A + Solución B + DMP30 0.75 ml

Anexo 3. Técnica de tinción tricrómica modificada de Crossmon's para cortes en parafina (Crossmon 1937, Gray 1954).

Reactivos	Tiempos
1. Ultraclear	10 min.
2. Ultraclear	10 min.
3. Alcohol absoluto	5 min.
4. Alcohol al 96%	5 min.
5. Agua destilada	10 min.
6. Hematoxilina de Groat	6 min. hembras 4 min. machos
7. Agua de grifo	5 min.
8. Eritrosina / Naranja G	3 min. hembras

	1 min. machos
9. Agua destilada	remojo
10. Agua ácida (a. fosfomolibdico al 1%)	2 seg. aprox.
11. Agua destilada	remojo
12. Azul trypan (hembras) / verde luz (machos)	1 min. hembras
	3 min. machos
13. Agua destilada	remojo
14. Agua ácida (a. acético al 1%)	segundos
15. Agua destilada	remojo
16. Alcohol al 96%	2 min.
17. Alcohol absoluto	2 min.
18. Alcohol absoluto	5 min.
19. Ultraclear	5 min.
20. Ultraclear	5 min.

Resultados:

Nucleos: azules oscuros / negros

Citoplasma: rojos claros “rosas”

Músculo: tonos en rojo

Colágeno, fibras, tejido conectivo: tonos azul / verde

Placas vitelinas (casco del ovocito): amarillo / naranja

Mucus: tonos azules (basofílicos) o tonos rojos (acidofílicos).

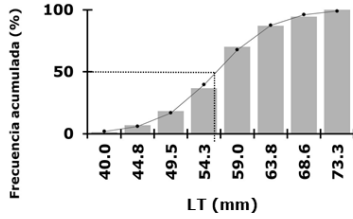
Anexo 4. Valores de temperatura superficial del mar en °C, para la localidad de Puerto Ángel, Oaxaca.

Año	Meses	Temperatura
2009	Octubre	30.9
2009	Noviembre	30.1
2009	Diciembre	27.8
2010	Enero	26.4
2010	Febrero	26.5
2010	Marzo	26.8
2010	Abril	27.0
2010	Mayo	26.8
2010	Junio	29.9
2010	Julio	29.5
2010	Agosto	29.7
2010	Septiembre	30.9
2010	Octubre	24.9
2010	Noviembre	24.5
2010	Diciembre	25.0
2011	Enero	27.7
2011	Febrero	27.6
2011	Marzo	27.3
2011	Abril	29.4
2011	Mayo	30.2
2011	Junio	30.2
2011	Julio	29.4
2011	Agosto	29.3
2011	Septiembre	28.9
2011	Octubre	28.5
2011	Noviembre	26.1
2011	Diciembre	26.4

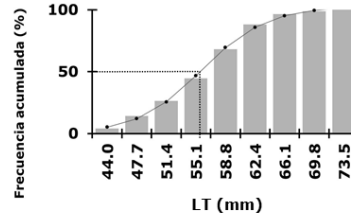
Anexo 5. Gráficos de la talla de madurez sexual para el quitón *C. (C.) articulatus* de Puerto Ángel, Oaxaca.

Longitud total (LT) en mm

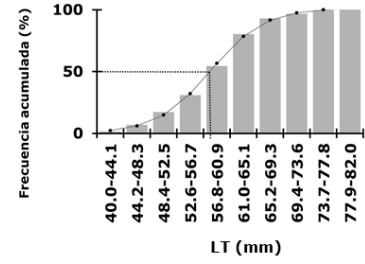
Hembras



Machos

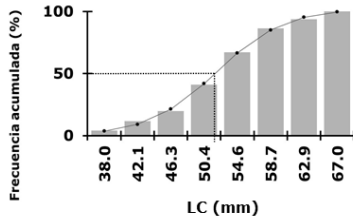


Sexos combinados

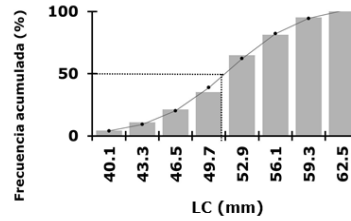


Longitud concha (LC) en mm

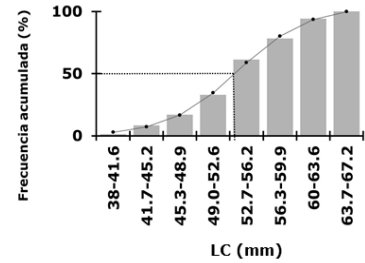
Hembras



Machos

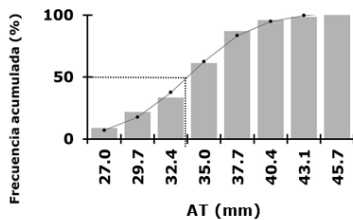


Sexos combinados

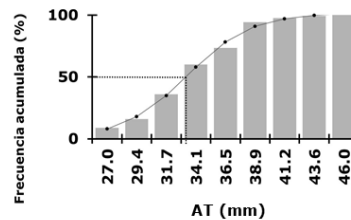


Ancho total (AT) en mm

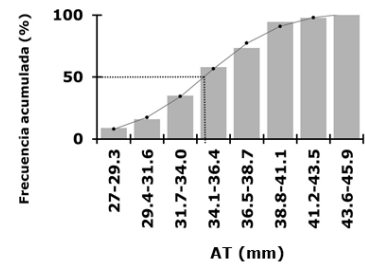
Hembras



Machos

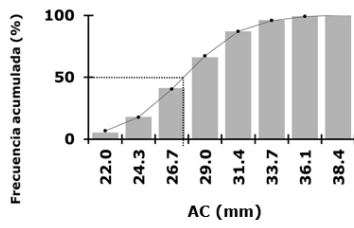


Sexos combinados

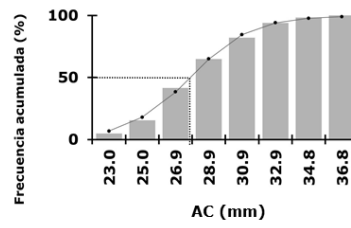


Ancho concha (AC) en mm

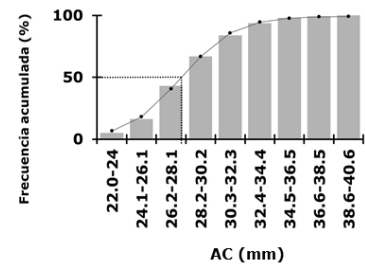
Hembras



Machos

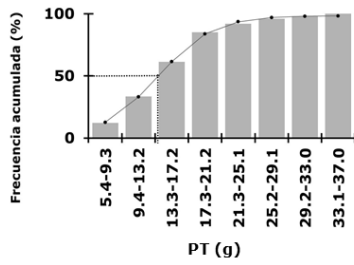


Sexos combinados

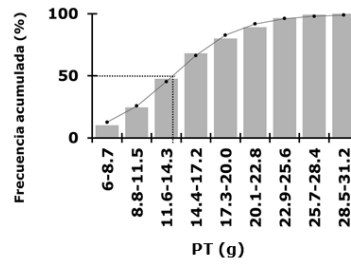


Peso total (PT) en g

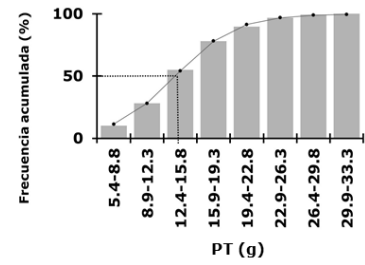
Hembras



Machos



Sexos combinados



Talla inicial de madurez sexual (T_{im}) y/o talla de madurez sexual ($T_{m50\%}$) – medida de manejo pesquero para el poliplacóforo *Chiton (Chiton) articulatus*: caso de estudio

Quetzalli Yasú Abadia-Chanona¹, Omar Hernando Avila-Poveda^{2*}, Marcial Arellano-Martínez¹, Bertha Patricia Ceballos-Vázquez¹, Luis Miguel Flores-Campaña², Xchel Gabriel Moreno-Sánchez¹, Jorge Saúl Ramírez-Pérez²

¹Instituto Politécnico Nacional (IPN), Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR). Av. Instituto Politécnico Nacional s/n, Col. Playa Palo de Santa Rita, C.P. 23096, La Paz, Baja California Sur, México.

²Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), Facultad de Ciencias del Mar (FACIMAR). Paseo Claussen s/n, C.P. 82000, Mazatlán, Sinaloa, México.

*CATEDRA-PATRIMONIAL CONACYT.

E-mail: q_yach18@yahoo.com.mx; oavila@uas.edu.mx

Resumen


La edad/talla de madurez sexual (TM) es la base para establecer una talla mínima de captura (TMC) como medida de manejo pesquero de un recurso. El poliplacóforo *Chiton (Chiton) articulatus*, es un recurso altamente explotado que requiere de regulación pesquera a lo largo de la costa del Pacífico mexicano. El objetivo de este estudio es proporcionar la base biológico reproductiva de la talla de madurez sexual ($T_{m50\%}$) y la implementación del término talla inicial de madurez sexual (T_{im}) de *C. (C.) articulatus*, tomando como base el análisis histológico de la gónada y varias variables biométricas. La estimación para la T_{im} fue de 17 mm de longitud total (LT, incluyendo el cinturón del manto) para machos y de 32 mm LT para hembras. Las $T_{m50\%}$ estimadas por variable biométrica para ambos sexos fueron de 55.72 mm LT, 51.39 mm de longitud de la concha (LC, sin el cinturón del manto), 33.43 mm de ancho total (AT, incluyendo el cinturón del manto), 26.91 mm de ancho de la concha (AC, sin el cinturón del manto) y 11.88 g de peso corporal total (PT). Con estos resultados se proporcionan los criterios para establecer una talla mínima de captura basada en diferentes variables biométricas y estadios de vida; contribuyendo de esta forma al desarrollo de la talla mínima de captura (TMC) como medida de manejo pesquero para el quitón *C. (C.) articulatus*.



Congresos

Anexo 7. 5to Coloquio Anual Estudiantil. Organizado por la subunidad estudiantil de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Capitulo de la AFS y División de la Sociedad Americana de Pesca Occidental, 7-11 abril, 2014. Mazatlán, Sinaloa, México.


<http://wdaafs.org/students/student-colloquium/>



PROTOCOL FOR RELAXATION, FIXATION AND DISSECTION OF POLYPLACOPHORA GONAD FOR HISTOLOGICAL AND MORPHOLOGICAL STUDIES


Quetzalli Yasú Abadía-Chanona,^{1*} Omar Hernando Avila-Poveda², Marcial Arellano-Martínez¹

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, Baja California Sur, Mexico. Email: * q_yach18@yahoo.com.mx
²División de Estudios de Posgrado, Universidad del Mar, Puerto Angel, Oaxaca, Mexico.




Generally, for studies of the reproductive biology and morphometric of chitons, the gonad (flaccid and gelatinous consistency) is directly dissected, and chitons, which contracted violently during handling, are measured.


Female



Male




Contracted chiton



This handling does not allow to the gonad and body mass to retain their original anatomy (body structure), which may underestimate the results.

Collected organisms
 During previous studies (Avila-Poveda 2013, Avila-Poveda and Abadia-Chanona 2013,) adults of *Chiton (Chiton) articulatus* (total length 40 to 78 mm) were collected.







Relaxation and fixation
 During handling, chitons were relaxed and allowed to stretched for 1 h, with gradual exchanges of seawater with fresh water and adding 10% ethanol. Subsequently, specimens were fixed (2 weeks) in 10% neutral formalin solution in sea water and, finally, preserved in 70% ethanol (Avila-Poveda 2013, Avila-Poveda and Abadia-Chanona 2013).


References
 Avila-Poveda OH (2013) Annual change in morphometry and in somatic and reproductive indices of *Chiton articulatus* adults (Polyplacophora: Chitonidae) from Oaxaca, Mexican Pacific. *American Malacological Bulletin* 31:65-74.
 Avila-Poveda OH, Abadia-Chanona QY (2013) Emergence, development, and maturity of the gonad of two species of Chitons "Sea Cockroach" (Mollusca: Polyplacophora) through the early life stages. *Plos One* 8(8): e69785.doi:10.1371/journal.pone.0069785.

Dissection


- 1.-Each stretched chiton were separated the mantle girdle and the valves of the soft body.
- 2.-Subsequently, parallel cuts to the length of the chiton on both sides of the insertion groove of the digestive organs were done.
- 3.-After, the musculature was removed, ensuring that the gonad remain free of the dorsal aorta.
- 4.-Finally, a complete and compact gonad was obtained.


Female




Male










Female



Male



Conclusion
 The procedure here described, allows obtain the compact gonad without loss of structure (for histological analysis), as well as keep chitons stretched in their original shape (for morphological analysis).

Stretched chiton

The 5th Annual WDAFS Student Colloquium, Western Division American Fisheries Society, April 7-11, 2014, Mazatlán, Sinaloa, Mexico

<http://www.cibnor.mx/es/component/content/article/1262-rotativo-principal-b-152>

ASPECTOS REPRODUCTIVOS DE UNA POBLACIÓN DE *Chiton* (*Chiton articulatus*) (MOLLUSCA: POLYPLACOPHORA) DE OAXACA, MÉXICO

Quetzalli Yasú Abadía-Chanona^{1*}, Omar Hernando Avila-Poveda², Marcial Arellano-Martínez¹

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, Baja California Sur, México.
Email: * q_yach18@yahoo.com.mx

²División de Estudios de Posgrado, Universidad del Mar, Puerto Angel, Oaxaca, Mexico.

Introducción

El quitón, *Chiton* (*Chiton articulatus*) comúnmente conocido como “lengua de perro” o “cucaracha de mar”, se distribuye a lo largo de la costa del Pacífico tropical mexicano, es tradicionalmente recolectado por habitantes costeros como carnada para la pesca artesanal, como complemento alimenticio y de subsistencia. Recientemente es ofrecido como comida gourmet en restaurantes a lo largo de la costa del Pacífico mexicano, llevándolo a ser un recurso potencialmente explotable.

La información que se tiene sobre la biología reproductiva de la cucaracha de mar es casi nula, por lo que el alcance de esta investigación es generar mediante del análisis histológico de la gónada algunos aspectos reproductivos (establecimiento de los estadios de desarrollo gonádico, ciclo reproductivo e índice de madurez microscópico) para *C. (C.) articulatus* de la costa de Puerto Ángel.

Material y Métodos

Se hicieron recolectas mensuales de aproximadamente 32 organismos adultos (Longitud total 40 a 78 mm) durante todo el año 2011 en Puerto Ángel, Oaxaca, México (Avila-Poveda 2013). Los quitones fueron relajados, fijados y diseccionados. Se realizaron cortes transversales de la gónada (Avila-Poveda y Abadía-Chanona 2013), posteriormente se realizó el proceso histológico de rutina (Luna 1968), y se aplicó la tinción tricrómica de Crossmon (Crossmon 1937, Avila-Poveda y Abadía-Chanona 2013).

Resultados

Se establecieron cinco estadios de desarrollo gonádico:

Hembra

Macho

El ciclo reproductivo coincide con el índice de madurez microscópico, se puede indicar que el principal periodo reproductivo (madurez y desove), se presenta en la segunda mitad del año, con un pico de madurez en junio.

Ciclo reproductivo ambos sexos

Índice de madurez microscópico

Referencias

Avila-Poveda (2013) Annual change in morphometry and in somatic and reproductive indices of *Chiton articulatus* adults (Mollusca: Polyplacophora) from Oaxaca, Mexican Pacific. *American Malacological Bulletin* 24:65-74.

Avila-Poveda OH, Abadía-Chanona QY (2013) Emergence, development, and maturity of the gonad of two species of *Chiton* “Sea Cockroach” (Mollusca: Polyplacophora) through the early life stages. *Plus One* 8(8):e00785. doi:10.1371/journal.pone.0089785.

Crossmon G (1937) A modification of Mallory's connective tissue stain with a discussion of principles involved. *Anat Rec* 69: 33-38.

Luna LG (1968) Manual of histologic staining methods of the Armed Forces Institute of Pathology. McGraw-Hill Book Company, New York, NY

Agradecimientos

Al sistema de becarios PIFI, CONACyT y al CICIMAR, por el apoyo para la realización de este estudio.

XIV Semana de Posgrado, 22-26 abril, Baja California Sur, México.

<http://www.mollusca2014.unam.mx/>

Observation and establishment of the gonad development stages in Polyplacophora: *Chiton (Chiton) articulatus*, a case study

Quetzalli Yasú Abadía-Chanona^{1*}, Omar Hernando Avila-Poveda²,
Marcial Arellano-Martínez¹, Luis Miguel Flores-Campaña³

¹ Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, *q_yachi18@yahoo.com.mx;

² Universidad del Mar, División de estudios de posgrado

³ Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa



Introduction

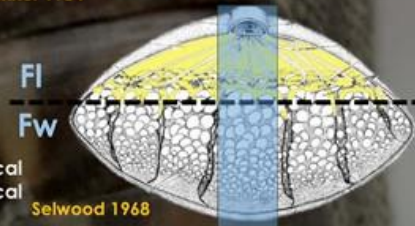
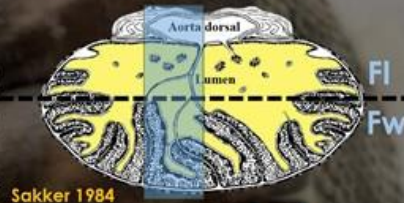
In polyplacophoran, the gonad is a simple structure compared to other mollusks, so simple that it functions like one single follicle structured by a "follicular wall (Fw)" mainly located toward the gonad's ventral side, and a "follicular lumen (Fl)" decentralized toward the gonad's dorsal side.



The existing descriptions of the reproductive cycle of several polyplacophoran have been done haphazardly on any gonad side (e.g., ventral or dorsal) without regard to the entire gonad's anatomical structure, thus they may have established erroneously the GDS and, therefore, incorrect description of the reproductive cycle.

Method

Chitons were relaxed, fixed and dissected according to Abadía-Chanona et al. (2014). From a transversal cut of the gonad processed by histology a panoramic observation "i.e., the whole follicle" (blue rectangle) was performed, considering the reproductive physiological process (i.e., formation, development, maturation, and spawning of gametes), since the gametes are formed in the gonad's ventral side, in turn, they will develop and move toward the gonad's dorsal side, where, finally, the mature gametes reach the gonoducts for their expulsion to the environment.

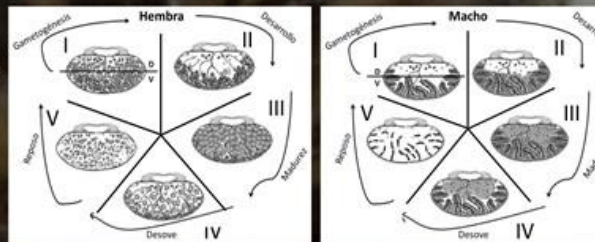
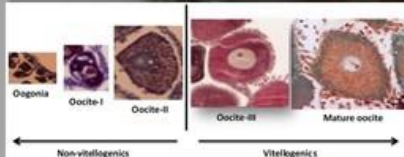


Results

A pattern template for the observation of the gonad's histological characteristics for males and females, and qualitative graphical diagrams to visualize each GDS were generated.

		Germinal epithelium		Blood vessels		Filling lumen		Oogonia/Spermatogonia		Oocyte/Spermatocyte-Spermatida		Mature oocyte/Spermatosa	Gonad Development stage	Observations
Mark	Month	Thick	Thin	Ciliated	Unciliated	Fl	Fw	Type-I	Type-II					
QI	Sept	Female	✓		✓	✓	empty	half full	X		X	X	GDS-II	

Finally, five stages of gonadal development were established and described:
I-gametogenesis, II-development,
III-ripeness, IV-spawning, V-rest or recovery.



Conclusions

It is elemental standardize the method of observation and of GDS establishment in polyplacophoran, which considers the physiological process of the gamete and the complete structure of the gonad.


References

- Abadía-Chanona QY, Avila-Poveda OH, Arellano-Martínez M (2014) Protocol for relaxation, fixation and dissection of Polyplacophora gonad for histological and morphological studies. The 5th Annual WDAFS Student Colloquium, Western Division American Fisheries, April 7-11, Mazatlán, México.
- Richter H-P (1986) Ultrastructure of Follicular Epithelia in the Ovary of *Lepidochiton cinerea* (L.) (Mollusca: Polyplacophora). *Development Growth and Differentiation* 28: 7-16.
- Sakker EB (1984) Sperm morphology, spermatogenesis and spermiogenesis of three species of chitons (Mollusca, Polyplacophora). *Zoomorphology* 104:111-121.
- Selwood L (1968) Interrelationships between developing oocytes and ovarian tissues in the chiton *Sypharochiton septentrionalis* (Ashby) (Mollusca, Polyplacophora). *Journal of Morphology* 125:71-103.

Mollusca 2014, El encuentro de las Américas, 22-27 Junio, Ciudad de México.

Anexo 10. V Reunión Nacional de Innovación Acuícola y Pesquera, en el marco de las Reuniones Nacionales de Investigación e Innovación Pecuaria, Agrícola, Forestal y Acuicola-Pesquera, 6-9 octubre, 2014. Mérida, Yucatán, México.

<http://www.reunionesnacionales.org.mx/2014/resumenes.php>




PERIODO REPRODUCTIVO DE *Chiton (Chiton) articulatus* (MOLLUSCA: POLYPLACOPHORA) DE OAXACA, MÉXICO

Quetzalli Yasu Abadia-Chanona¹, Omar Hernando Avila-Poveda², Marcial Arellano-Martínez¹

¹ Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN), ² Catedra CONACYT, Facultad de Ciencias del Mar (FACIMAR-UAS)

Introducción

Molusco polyplacóforo conocido comúnmente como "lengua de perro" o "cucaracha de mar"




Complemento alimenticio

Sin embargo, son escasos los estudios sobre el ciclo reproductivo de *C. (C.) articulatus* y no existe ninguna medida de regulación en cuanto a su captura.

El objetivo de este estudio es evaluar mediante análisis histológicos de la gónada el ciclo reproductivo de una población adulta de *C. (C.) articulatus* de Oaxaca, México para conocer cuál es la temporada de madurez y desove y así poder proponer como medida de manejo una veda.


Material y métodos

Mensualmente durante el 2011 se recolectaron en promedio 32 quitones *C. (C.) articulatus* adultos (tallas mayores a 40 mm de longitud total, incluye el cinturón del manto) (Avila-Poveda y Abadia-Chanona 2013), en la zona del intermareal rocoso de Puerto Ángel, Oaxaca

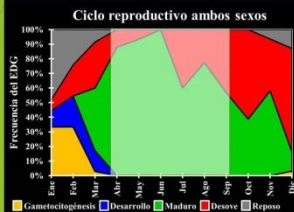


Los quitones fueron relajados con alcohol 70%, fijados con formol salino al 10% durante 2 semanas y conservados en alcohol hasta el proceso histológico (Avila-Poveda 2013 y Abadia-Chanona et al. 2014a).

La disección de la gónada se realizó siguiendo el procedimiento de Abadia-Chanona et al. (2014).

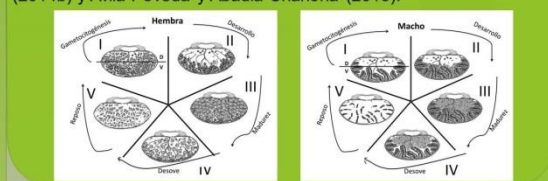


Resultados y discusión



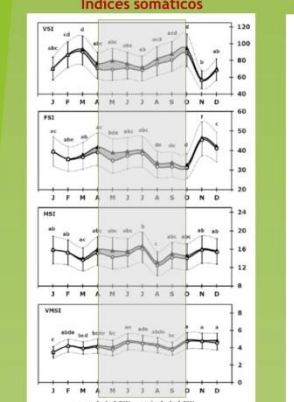
Los picos de madurez se presentaron en abril (88%), mayo (93%), junio (100%), julio (60%), agosto (77%) y septiembre (57%).

Los resultados histológicos validan los dos picos reproductivos (mayo, agosto-septiembre) mostrados mediante el cálculo de diferentes índices (i.e., somáticos y reproductivos) para esta misma población de *C. (C.) articulatus* (Avila-Poveda 2013).

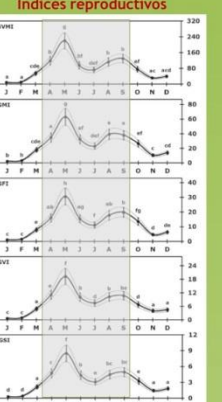


Para establecer el ciclo y periodo reproductivo se usaron cinco estadios de desarrollo gonádico de acuerdo a Abadia-Chanona et al. (2014b) y Avila-Poveda y Abadia-Chanona (2013).

Índices somáticos



Índices reproductivos



Conclusión

* Teniendo en cuenta que *C. (C.) articulatus* es un desovador total, y basados en esta información histológica y morfológica se propone la **implementación de una veda de abril a septiembre** cubriendo en continuidad los dos picos reproductivos.

* Se sugiere utilizar estos **índices somáticos y reproductivos (Avila-Poveda 2013) como un método no invasivo** que permita realizar monitoreos del periodo reproductivo a largo plazo.

* Con esta información se da la base para una propuesta de veda como medida de manejo pesquero, contribuyendo a la elaboración de un futuro Plan de Manejo Pesquero para el quitón *C. (C.) articulatus*

Referencias

* Abadia-Chanona QY, Avila-Poveda OH, Arellano-Martínez M (2014a) Protocol for relaxation, fixation and dissection of Polyplacophora gonad for histological and morphological studies. *The 5th Annual WDAFS Student Colloquium, Western Division American Fisheries Society, April 7-11, 2014, Mazatlán, Sinaloa, Mexico.*

* Abadia-Chanona QY, Avila-Poveda OH, Arellano-Martínez M, Flores-Campana LM (2014b) Observation and establishment of the gonad development stages in Polyplacophora: *Chiton (Chiton) articulatus*, a case study. *Mollusca 2014. El encuentro de las Américas, 22-27 Junio, Ciudad de México.*

* Avila-Poveda (2013) Annual change in morphometry and in somatic and reproductive indices of *Chiton articulatus* adults (Mollusca: Polyplacophora) from Oaxaca, Mexican Pacific. *American Malacological Bulletin* 31:65-74.

* Avila-Poveda OH, Abadia-Chanona QY (2013) Emergence, development, and maturity of the gonad of two species of Chitons "Sea Cockroach" (Mollusca: Polyplacophora) through the early life stages. *Plos One* 8(8):e69785.doi:10.1371/journal.pone.0069785.

Estudio apoyado por: (1) Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, beca Nacional (CONACYT); (2) Beca de Estimulo Institucional de Formación de Investigadores, beca IN-02 2014; (3) Proyecto Estrategia reproductiva del callo de hacha *Arctostaphylos* (Santalaceae, Rubiaceae) en el noroeste de México 2014-045, a cargo del Dr. Marcial Arellano-Martínez; (4) Durante esta reunión, Omar Hernando Avila-Poveda fue congresado por CATEDRA INTERDISCIPLINARIA CONACYT, en Facultad de Ciencias del Mar (FACIMAR), Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS).

<http://www.utmachala.edu.ec/portalweb/publicacion/show/id/3166/format/html/hl/es>



¿TALLA INICIAL DE MADUREZ SEXUAL (T_{im}) Y/O TALLA DE MADUREZ SEXUAL ($T_{m50\%}$)? -- MEDIDA DE MANEJO PESQUERO PARA EL POLIPLACÓFORO *Chiton (Chiton) articulatus* : CASO DE ESTUDIO

Quezalli Yású Abadía-Chanona¹, Omar Hernando Avila-Poveda^{2,*}, Marcial Arellano-Martínez¹, Bertha Patricia Ceballos-Vázquez¹, Luis Miguel Flores-Campaña², Xchel Gabriel Moreno-Sánchez¹, Jorge Saúl Ramírez-Pérez²

¹ Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN)-La Paz, BCS, México, ² Facultad de Ciencias del Mar (FACIMAR-UAS)-Mazatlán, Sinaloa, México.



Introducción

El poliplacóforo *Chiton (Chiton) articulatus* conocido como "lengua de perro" o "cucaracha de mar" se distribuye en la costa rocosa del Pacífico mexicano, es una especie con una alta pesquería "artesanal" informal para:



carnada para la pesca artesanal, PUERTO ÁNGEL, OAXACA
venta "callejera" en zona turística (ACAPULCO, GUERRERO) y en mercado popular ambulante (POCHUTLA, OAXACA)
consumo local (PUERTO ÁNGEL, OAXACA) y consumo en restaurantes como platillo "gourmet" (POCHUTLA, OAXACA)

Materiales y métodos

Mensualmente de enero a diciembre del 2011 se recolectaron en promedio 32 quitones *C. (C.) articulatus* ADULTOS (tallas mayores a 40 mm de longitud total incluyendo el cinturón del manto (Avila-Poveda 2013), en la zona del intermareal rocoso de Puerto Ángel, Oaxaca



La $T_{m50\%}$ de *C. (C.) articulatus* fue estimada por Avila-Poveda y Abadía-Chanona (2013) con quitones entre 5 mm y 40 mm de longitud total.

Los quitones fueron relajados con alcohol 70%, fijados con formol salino al 10% durante 2 semanas y conservados en alcohol hasta el proceso histológico (Avila-Poveda 2013). La disección de la gónada se realizó siguiendo el procedimiento de Abadía-Chanona et al. (2014a):



La observación y establecimiento de cinco estadios de maduración gonádica (EMG): I-gametogénesis, II-desarrollo, III-madurez, IV-desevo, V-reposo fue de acuerdo a Abadía-Chanona et al. (2014b).



La $T_{m50\%}$ se estimó para cinco variables biométricas tomadas: longitud total (LT), longitud de la concha (LC), ancho total (AT), ancho de la concha (AC) y peso total (PT). Se estimó mediante la frecuencia relativa acumulada por intervalos de clase (2 mm) de los organismos adultos (≥ 40 mm LT) que se encontraban en EMG: III-madurez, IV-desevo y V-reposo (posterior al desevo). Los valores obtenidos fueron suavizados usando la función logística sigmoideal del programa CurveExpert Professional 2.0.4.



La edad/talla de madurez sexual (TM) es un parámetro importante para el manejo pesquero y por tanto es la base para establecer una talla mínima de captura (TMC). Sin embargo, se han utilizado diversos símbolos (t_m , T_M , TMS), nombres (primera madurez sexual, madurez sexual, media de madurez) e incluso diferentes maneras de estimarla (Ragonesi y Bianchini 2014) que han generado confusiones conceptuales. Desde el punto de vista de la biología del desarrollo, la T_{im} se define como la talla a la cual un organismo produce por primera vez un su vida durante el estadio JUVENIL-SUBADULTO un lote de gametos maduros después de que las gónadas pasaron por el proceso de diferenciación sexual (Coe 1944, Avila-Poveda y Abadía-Chanona 2013). Mientras que desde el punto de vista de la biología pesquera, proponemos usar el término "Talla de madurez sexual ($T_{m50\%}$)" definida como la talla a la cual el 50% de los individuos de un stock (estadio ADULTO) están reclutados eficientemente a la reproducción (Stearns 1992).

El objetivo de este estudio es proporcionar la base biológica reproductiva de la talla de madurez sexual ($T_{m50\%}$) y la implementación del término talla inicial de madurez sexual (T_{im}) de *C. (C.) articulatus*, tomando como base el análisis histológico de la gónada y varias variables biométricas, como criterio básico para el establecimiento de una talla mínima de captura, ya que este es el único quitón explotado con importancia económica pero sin normativa o vigilancia sobre su captura y comercialización.

Resultados

Talla de primera madurez sexual (T_{im}) – ETAPA DE VIDA JUVENIL-SUBADULTO

- LT: Machos: 17 mm, Hembras: 32 mm (Avila-Poveda y Abadía-Chanona 2013).

Talla de madurez sexual ($T_{m50\%}$) – ETAPA DE VIDA ADULTO

- LT: Machos: 55.64 mm, Hembras: 56.01 mm, Ambos: 55.72 mm
- LC: Machos: 51.26 mm, Hembras: 51.77 mm, Ambos: 51.39 mm
- AT: Machos: 33.30 mm, Hembras: 33.71 mm, Ambos: 33.43 mm
- AC: Machos: 27.71 mm, Hembras: 27.51 mm, Ambos: 26.91 mm
- PT: Machos: 12.21 g, Hembras: 11.73 g, Ambos: 11.88 g

Conclusión

Con los resultados obtenidos se proporciona las bases y criterios para establecer una talla mínima de captura basada en morfometría, peso, y estadios de vida (juvenil, subadulto, adulto), como una futura medida regulatoria para el quitón *C. (C.) articulatus*.

Esta investigación fue financiada por el proyecto SIP 20140465 otorgado a Arellano-Martínez M, el estímulo SNI-CONACYT/2012-2014 otorgado a Avila-Poveda OH y el proyecto PROFAP-UAS 2013/043 otorgado a Flores-Campaña LM. Abadía-Chanona QY recibe las becas CONACYT y BEFI y los resultados presentados aquí son parte de su tesis de maestría. * Avila-Poveda OH es combinado de CATEDRAS-CONACYT proyecto No. 2137/FACIMAR-UAS). Moreno-Sánchez XG es becario EDI-IPN-programa contratación por excelencia. Ramírez-Pérez JS es becario del programa de estímulos al desempeño docente de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

VII FIRMA "FORO IBEROAMERICANO DE LOS RECURSOS MARINOS Y LA ACUICULTURA", MACHALÁ, ECUADOR, 18-21 NOVIEMBRE 2014

Anexo 12. XV Semana del Posgrado, 12-14 de mayo, 2015, La Paz, Baja California Sur, México.

<http://148.204.122.236/semana/index.php/semanaxv/semanaxv>



The banner features a blue header with the following elements from left to right: a map of Baja California Sur with the text 'XV SEMANA DE POSGRADO EN BAJA CALIFORNIA SUR'; the logo for CICIMAR-IPN; the logo for the National Institute of Oceanography and Fisheries (INAO); the logo for the Center for Biological Research (CIB); and the text 'Conocimiento Vinculante'. Below the header, the title of the research paper is displayed in yellow text on a black background: 'Maduración gonádica, ciclo reproductivo y talla de madurez sexual del quitón *Chiton (Chiton) articulatus*'. Below the title, the author's name is listed in white text: 'B. M. Quetzalli Yasú Abadía-Chanona'. At the bottom of the banner is a photograph of several translucent, oval-shaped chiton shells resting on a dark, textured substrate.

Estancia de investigación

Anexo 13. 2014. Estructura microscópica a lo largo del desarrollo del huevo de *Chiton* (*Chiton articulatus* (Mollusca: Polyplacophora).

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Instituto de Biodiversidad y Biología Experimental y Aplicada, Laboratorio de Biología de Invertebrados Marinos. Supervisora Dra. Juliana Giménez, 01 septiembre – 30 octubre. Buenos Aires, Argentina



Laboratorio de Biología de Invertebrados Marinos.
Instituto de Biodiversidad y Biología Experimental y Aplicada.
IBBEA, CONICET-UBA.
Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental.
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
Universidad de Buenos Aires.

Tel: ++54-11- 45763300 Ext. 266
Fax: ++54-11-4576-3384

Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 29 de mayo de 2014

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
Dirección Adjunta de Formación y Desarrollo de Científicos y Tecnólogos
PRESENTE

Por medio de la presente carta, informo que la estudiante **Quetzalli Yasu Abadía Chanona**, actualmente registrada en el Programa de Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN) bajo la tutoría de los Dr. Marcial Arellano Martínez y del M. en C. Omar Hernando Avila Poveda, ha sido aceptada para una estancia de Investigación bajo mi supervisión en el Laboratorio de Biología de Invertebrados Marinos, por el periodo del 1 de septiembre al 30 de octubre de 2014.

La estudiante Yasú será bienvenida para visitarnos y colaborar en nuestro grupo de trabajo, como parte de su tesis de maestría "Aspectos reproductivos del *Chiton articulatus* (Mollusca: Polyplacophora) de Oaxaca, México", analizaremos la estructura microscópica a lo largo del desarrollo del huevo de esta especie.

Las actividades a desarrollar estarán principalmente enmarcadas en el proceso de microscopía electrónica de barrido y microscopía óptica:

1. Inclusión de muestras en resina (1 semana)
2. Realizar cortes (2 semanas)
3. Coloración de los cortes, aplicando diferentes técnicas (H/E, APS, tricómico) (2 semanas)
4. Realizar observaciones y tomas de imágenes digitales en MO y MEB (2 semanas)
5. Interpretación de los resultados (1 semana)

Sin duda esta es una oportunidad para desarrollar además de éste, futuros proyectos en colaboración entre grupos de trabajo, lo cual nos permitirá avanzar en el conocimiento del grupo Polyplacophora.

Saludo a usted cordialmente

Dra. Juliana Giménez
IBBEA, CONICET-UBA
Av. Guiraldes 2160, Pab. II. C1428EHA.
Buenos Aires, Argentina.
e-mail: jgimenez@bg.fcen.uba.ar