



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



ASPECTOS REPRODUCTIVOS DEL PULPO
Octopus hubbsorum BERRY, 1953 EN EL
PARQUE NACIONAL "BAHÍA DE LORETO",
GOLFO DE CALIFORNIA

TESIS

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

PRESENTA

MYRNA LETICIA BRAVO OLIVAS

LA PAZ, B.C.S., NOVIEMBRE DE 2008



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 10:30 horas del día 19 del mes de Junio del 2008 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis de grado titulada:

"ASPECTOS REPRODUCTIVOS DEL PULPO *Octopus hubbsorum* BERRY, 1953
EN EL PARQUE NACIONAL "BAHÍA DE LORETO", GOLFO DE CALIFORNIA"

Presentada por el alumno:

BRAVO

Apellido paterno

OLIVAS

materno

MYRNA LETICIA

nombre(s)

Con registro:

B	0	6	1	1	3	2
---	---	---	---	---	---	---

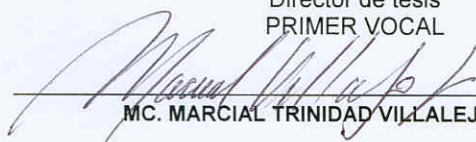
Aspirante al grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

LA COMISION REVISORA

Director de tesis
PRIMER VOCAL


MC. MARCIAL TRINIDAD VILLALEJO FUERTE

PRESIDENTE



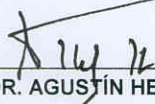
DR. FEDERICO ANDRÉS GARCÍA DOMÍNGUEZ

SECRETARIO



DR. MARCIAL ARELLANO MARTÍNEZ

SEGUNDO VOCAL



DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERRERA

TERCER VOCAL



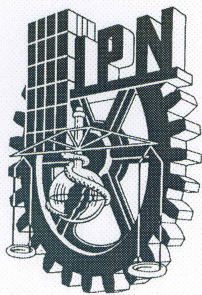
DRA. MARIA DINORAH HERRERO PEREZRUL

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO


DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



IPN
CICIMAR
DIRECCION



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 29 del mes Octubre del año 2008, el (la) que suscribe MYRNA LETICIA BRAVO OLIVAS alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro B061132 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: MC. MARCIAL TRINIDAD VILLALEJO FUERTE y cede los derechos del trabajo titulado: "ASPECTOS REPRODUCTIVOS DEL PULPO *Octopus hubbsorum* BERRY, 1953 EN EL PARQUE NACIONAL "BAHÍA DE LORETO", GOLFO DE CALIFORNIA" al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: myrnabravo@yahoo.com mvillale@ipn.mx
Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

MYRNA LETICIA BRAVO OLIVAS

nombre y firma

ÍNDICE

	Página
LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABLAS	iv
GLOSARIO	v
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	7
III. JUSTIFICACIÓN	13
IV. OBJETIVOS	15
V. MATERIALES Y MÉTODOS	16
5.1 Área de estudio	16
5.2 Métodos de campo y laboratorio	18
5.3 Proceso histológico	18
5.4 Análisis histológico	19
5.5 Área de los ovocitos	19
5.6 Proporción sexual	20
5.7 Índices morfofisiológicos	20
5.7.1 Índice gonádico	20
5.7.2 Índice de la glándula digestiva	21
5.7.3 Factor de condición	22
5.8 Talla de madurez	22
VI. RESULTADOS	24
6.1 Estructura de tallas	24
6.2 Proporción sexual	26
6.2.1 Total	26
6.2.2 Mensual	26

6.2.3 Clase de talla	28
6.3 Descripción macroscópica de las gónadas	30
6.3.1 Hembras	30
6.3.2 Machos	31
6.4 Desarrollo gonadal	31
6.4.1 Hembras	31
6.4.2 Machos	35
6.5 Ciclo reproductivo	39
6.5.1 Hembras	39
6.5.2 Machos	40
6.6 Área de los ovocitos	42
6.7 Índices morfofisiológicos	44
6.7.1 Índice gonádico	44
6.7.2 Índice de la glándula digestiva	48
6.7.3 Factor de condición	53
6.8 Temperatura y su relación con el ciclo reproductivo de <i>O. hubbsorum</i>	56
6.9 Talla de madurez	57
VII. DISCUSIÓN	60
7.1 Estructura de tallas	60
7.2 Proporción sexual	60
7.3 Desarrollo gonadal	62
7.4 Ciclo reproductivo	65
7.5 Índices morfofisiológicos	68
7.5.1 Índice gonádico	68
7.5.2 Índice de la glándula digestiva	69
7.5.3 Factor de condición	70
7.6 Talla de madurez	71
VIII. CONCLUSIONES	74

IX. RECOMENDACIONES	76
X. BIBLIOGRAFÍA	77

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 <i>Octopus hubbsorum</i> Berry, 1953.	2
Figura 2 Distribución de <i>O. hubbsorum</i> .	3
Figura 3 Captura de pulpo en toneladas. Principales estados productores.	4
Figura 4 Captura promedio (%) de pulpo en el Pacífico mexicano de 1986 a 2001.	4
Figura 5 Captura anual de pulpo en Baja California Sur durante el periodo 1998-2004.	5
Figura 6 Área de estudio. Parque Nacional Bahía de Loreto. A) Isla del Carmen, B) Isla Danzante, C) Costa de Loreto.	17
Figura 7 Estructura de tallas de la población de <i>O. hubbsorum</i> en el Parque Nacional “Bahía de Loreto”.	25
Figura 8 Variación mensual de las tallas de hembras y machos de <i>O. hubbsorum</i> .	25
Figura 9 Frecuencia total de sexos de <i>O. hubbsorum</i> durante el periodo de muestreo.	26
Figura 10 Frecuencia mensual de sexos de <i>O. hubbsorum</i> durante el ciclo de muestreo.	28
Figura 11 Frecuencia de sexos por clase de talla de <i>O. hubbsorum</i> .	29
Figura 12 Sistema reproductor femenino de <i>O. hubbsorum</i>	30
Figura 13 Sistema reproductor masculino de <i>O. hubbsorum</i>	31
Figura 14 Corte histológico de la gónada femenina de <i>O. hubbsorum</i> en fase I (inmadura). 10x.	32
Figura 15 Corte histológico de la gónada femenina de <i>O. hubbsorum</i> en fase I (inmadura). 40x.	33
Figura 16 Corte histológico de la gónada femenina de <i>O. hubbsorum</i> en	

	fase II (en desarrollo). 20x.	33
Figura 17	Corte histológico de la gónada femenina de <i>O. hubbsorum</i> en fase III (madurez inicial). 20x.	34
Figura 18.	Corte histológico de la gónada femenina de <i>O. hubbsorum</i> en fase III (madurez inicial). 40x.	34
Figura 19	Corte histológico de la gónada femenina de <i>O. hubbsorum</i> en fase IV (madurez máxima). 10x.	35
Figura 20	Corte histológico de la gónada masculina de <i>O. hubbsorum</i> en fase I (inmaduro). 10x.	36
Figura 21	Corte histológico de la gónada masculina de <i>O. hubbsorum</i> en fase I (inmaduro). 20x.	36
Figura 22	Corte histológico de la gónada masculina de <i>O. hubbsorum</i> en fase II (en desarrollo). 10x.	37
Figura 23	Corte histológico de la gónada masculina de <i>O. hubbsorum</i> en fase II (en desarrollo). 40x.	37
Figura 24	Corte histológico de la gónada masculina de <i>O. hubbsorum</i> en fase III (madurez). 20x.	38
Figura 25	Corte histológico de la gónada masculina de <i>O. hubbsorum</i> en fase IV (eyaculado). 20x.	38
Figura 26	Corte histológico de la gónada masculina de <i>O. hubbsorum</i> . 20x.	39
Figura 27	Porcentaje de las fases de desarrollo gonadal de las hembras de <i>O. hubbsorum</i> durante el ciclo de muestreo.	40
Figura 28	Porcentaje de las fases de desarrollo gonadal de los machos de <i>O. hubbsorum</i> durante el ciclo de muestreo.	41
Figura 29	Ciclo reproductivo del pulpo <i>O. hubbsorum</i> en el Parque Nacional “Bahía de Loreto”.	41
Figura 30	Valor mensual promedio del área de los ovocitos de <i>O. hubbsorum</i> .	43
Figura 31	Valores mensuales promedio del área de los ovocitos y frecuencia de las fases de desarrollo gonadal de las hembras	

	de <i>O. hubbsorum</i> .	44
Figura 32	Variación del índice gonádico de las hembras de <i>O. hubbsorum</i> .	47
Figura 33	Variación del índice gonádico de los machos de <i>O. hubbsorum</i> .	47
Figura 34	Variación del índice de la glándula digestiva en hembras de <i>O. hubbsorum</i> .	50
Figura 35	Variación del índice de la glándula digestiva en machos de <i>O. hubbsorum</i> .	50
Figura 36	Relación del índice gonádico (IG) y de la glándula digestiva (IGD) en <i>Octopus hubbsorum</i> . a) Hembras, b) Machos.	52
Figura 37	Variación del factor de condición de las hembras de <i>O. hubbsorum</i> .	55
Figura 38	Variación del factor de condición de los machos de <i>O. hubbsorum</i> .	55
Figura 39	Variación de la temperatura del mar durante el periodo de muestreo y porcentaje de hembras de <i>O. hubbsorum</i> en fase de madurez.	56
Figura 40	Talla de madurez en longitud total en hembras de <i>O. hubbsorum</i> .	58
Figura 41	Talla de madurez en longitud del manto en hembras de <i>O. hubbsorum</i> .	58
Figura 42	Talla de madurez en longitud total de machos de <i>O. hubbsorum</i> .	59
Figura 43	Talla de madurez en longitud del manto de machos de <i>O. hubbsorum</i> .	59

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Proporción sexual total y mensual, observada y esperada de <i>O. hubbsorum</i> .	27
Tabla 2 Proporción sexual por clase de talla de <i>O. hubbsorum</i> . El asterisco indica diferencia significativa.	29
Tabla 3 Valores promedio mensuales y desviación estándar del área de los ovocitos de <i>O. hubbsorum</i> .	43
Tabla 4 Valor promedio mensual y desviación estándar del índice gonádico de hembras y machos de <i>O. hubbsorum</i> .	46
Tabla 5 Valor promedio mensual y desviación estándar del índice de la glándula digestiva de hembras y machos de <i>O. hubbsorum</i> .	49
Tabla 6 Valor promedio mensual y desviación estándar del factor de condición de hembras y machos de <i>O. hubbsorum</i> .	54

GLOSARIO

Células foliculares.- Células que envuelven al gameto femenino formando el folículo; estas células proveen los elementos con que nutre al gameto.

Ciclo gonádico.- Evento repetitivo dentro de las gónadas y que conducen a la producción de gametos.

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

Ciclo reproductivo terminal.- Ciclo reproductivo que se lleva a cabo al final del ciclo de vida del organismo y que conduce a su muerte.

Corion.- Membrana que rodea a las células sexuales femeninas llamadas ovocitos.

Desove monocíclico.- Desove en el que la liberación de huevos se realiza continuamente en pocas horas o días.

Especie anual.- Especie cuyo ciclo vital completo (eclosión, crecimiento, reproducción y muerte) se efectúa en un año.

Espermátida.- Célula haploide formada por división de un espermatocito secundario en el testículo que da lugar a un espermatozoide.

Espermatocito.- Célula germinal de stirpe masculina en vías de maduración.

Espermatóforo.- Cápsula o masa creada por los machos de varios invertebrados que contienen espermatozoides, que se utiliza como sistema de transmisión del esperma y que se intercambia durante la cópula.

Espermatogénesis.- Conjunto de procesos que ocurren en las glándulas genitales masculinas y forman los espermatozoides. Proceso biológico mediante el cual se producen espermatozoides.

Espermatogonia.- Célula germinal que forma parte de la pared del testículo y que mediante una serie de divisiones celulares dará lugar a los espermatozoides.

Etapas reproductivas.- Periodo del año durante el cual la mayoría de los individuos de una población han alcanzado la madurez de sus gónadas y los gametos se encuentran listos para ser liberados.

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

Glándula digestiva.- Órgano en el que se realiza la digestión del material ingerido mediante la producción de enzimas.

Hectocotilo.- Tentáculo de los cefalópodos que generalmente está modificado en su extremo para transferir el esperma a la hembra.

Madurez centrípeta.- Proceso de maduración en la que los espermatozoides maduran hacia el centro del tubo seminífero, en la periferia se encuentran células inmaduras.

Oviducto.- Conducto por el que los óvulos salen del ovario para ser fecundados.

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

Ovogénesis.- Proceso de formación de los gametos femeninos.

Semélparo.- Organismo que alcanza la madurez sexual solamente una vez al término de su vida.

Tejido conjuntivo.- Tejido de origen mesodermal que provee soporte estructural y metabólico para otros tejidos y órganos del cuerpo.

Túbulos seminíferos.- Conductos en la gónada masculina donde se lleva a cabo la espermatogénesis; estos conductos convergen en un conducto en común que lleva a los espermatozoides al exterior.

Vitelo.- Material nutritivo en forma de gránulos, presente en el citoplasma de un óvulo.

Vitelogénesis.- Periodo de crecimiento del ovocito durante el cual las proteínas de origen extraovárico, son acumuladas en el ovocito.

ASPECTOS REPRODUCTIVOS DEL PULPO *Octopus hubbsorum* Berry, 1953 EN EL PARQUE NACIONAL “BAHÍA DE LORETO” GOLFO DE CALIFORNIA

Resumen

Octopus hubbsorum es la especie que soporta la pesquería de pulpos en el Pacífico mexicano, sin embargo se conocen pocos aspectos sobre su biología. El conocer el ciclo reproductivo de una especie es parte importante para poder comprender su potencial reproductivo y la capacidad de renovación de la población. Con el fin de contribuir al conocimiento de la biología de *O. hubbsorum* se analizaron algunos aspectos de su biología reproductiva en el Parque Nacional “Bahía de Loreto”. Se realizaron muestreos mensuales de febrero de 2006 a enero de 2007 obteniendo un total de 281 organismos. Mediante el análisis histológico de las gónadas se establecieron cuatro fases de desarrollo gonadal para hembras (inmadura, en desarrollo, madurez inicial y madurez máxima) y cuatro para machos (inmaduro, en desarrollo, madurez y eyaculado) y se determinó además el ciclo reproductivo, el cual indicó dos picos de reproducción, uno en junio y otro de menor intensidad en febrero. Se tomaron registros de la temperatura del agua y se correlacionó este factor con el evento reproductivo. Se observó que la temporada de máxima reproducción se presenta en los meses cálidos, cuando la temperatura alcanza los 26 °C. Como complemento al estudio del ciclo gonadal y para evaluar el crecimiento de los gametos femeninos se midió el área de los ovocitos; se encontró que éstos aumentan su tamaño conforme avanza el desarrollo gonadal. Se calcularon índices morfofisiológicos tales como el índice gonádico, el índice de la glándula digestiva y el factor de condición. Se encontró una correlación inversa proporcional entre el índice gonádico y el índice de la glándula digestiva, lo cual sugiere que la glándula digestiva es un sitio de almacenamiento de sustancias de reserva para iniciar la actividad reproductiva. La condición óptima de *O. hubbsorum* coincide con la frecuencia más alta de hembras en madurez máxima, y la condición más baja con el periodo de puesta de las hembras y de expulsión de gametos por los machos. Se estableció la proporción sexual total, mensual y por intervalo de tallas, encontrando diferencias significativas en la proporción sexual total, la cual estuvo sesgada hacia los machos (1.0M: 0.73H), así como en los meses de junio y diciembre y en el intervalo de talla de 40-44 cm. La talla de madurez se encontró a los 59.6 cm de longitud total para las hembras y a los 49.7 cm de longitud total para los machos.

REPRODUCTIVE ASPECTS OF *Octopus hubbsorum* Berry, 1953 AT “BAHÍA DE LORETO” NATIONAL PARK, GULF OF CALIFORNIA

Abstract

Octopus hubbsorum It is the species that supports the octopus' fishery in the Mexican Pacific Ocean; nevertheless few aspects on its biology are known. To know the reproductive cycle of a species is an important way to understand the reproductive potential and the capacity of renovation of the population. In order to contribute to the knowledge of the biology of *O. hubbsorum* some aspects of its reproductive biology in the “Bahía de Loreto” National Park were analyzed. Monthly samplings were taken from February 2006 to January 2007, obtaining 281 organisms. By histological analysis of gonads four phases of development for females (immature, development, initial maturity and maximum maturity) and males (immature, development, maturity and ejaculated) and the reproductive cycle were established. The results showed two peaks of reproduction, in July and another of minor intensity in February. Records of the water temperature were taken and correlated with the specie's breeding, and we observed that the season of maximum reproduction appeared in the warmer months, when the temperature reached 26°C. As a validation of the gonad cycle and to assess the growth of the female gametes, the oocytes' area was measured, showing size increase as the gonad developed. Morphophysiological indexes such as gonadic index, digestive gland index and condition factor were calculated. There was an inverse correlation between the gonadosomatic index and the digestive gland index, suggesting that the digestive gland is a site to storage reserve's substances to start the reproductive activity. Optimum condition of *O. hubbsorum* coincided with the highest frequency of females in maximum maturity and the lowest with the spawning in females and expulsion of gametes in males. Sex ratio was established. We found a significant difference in overall sex ratio (1.0M: 0.73H), as well as in the months of June and December and at the interval of size of 40-44 cm. Maturity size was found at 59.6 cm in total length for females and 49.7 cm in total length for males.

I. INTRODUCCIÓN

Los moluscos bentónicos son susceptibles a la sobreexplotación debido a su fácil captura y por que forman parte de la dieta humana, no sólo de las poblaciones asentadas cerca de las costas, sino también de aquellas que se encuentran en sitios apartados de estas (Baqueiro *et al.*, 1982). La sobreexplotación de especies de alto valor comercial se debe por una parte a la gran demanda que tienen y por otra parte a que solo se cuenta con estudios aislados, por lo tanto resulta difícil establecer programas conducentes al manejo racional de los mismos. Entre los estudios realizados revisten especial importancia los que se refieren a la reproducción, pues aportan información que puede ser empleada para la toma de decisiones por parte del sector oficial (Arreola-Hernández, 1997).

La reproducción es el proceso que asegura la continuidad de la especie, ahí reside la importancia de realizar estudios relacionados a los ciclos reproductivos (Hernández-López, 2000). En invertebrados marinos este proceso generalmente es controlado por factores tanto endógenos como exógenos, tales como la temperatura, disponibilidad de alimento y fotoperiodo, por lo que estos factores ayudan a coordinar la maduración gonadal de los individuos de una población (Hernández-Olalde, 2003).

Las características de la maduración y de los cambios gonádicos asociados al ciclo reproductivo de las especies, frecuentemente se evalúan empleando escalas macroscópicas de madurez sexual, índices gonádicos, disgregados o frotis gonadales y factores de condición, los cuales frecuentemente no concuerdan con la dinámica y el ciclo del funcionamiento gonadal (Olivares *et al.*, 2001). Paralelamente, ha sido reconocido que el análisis histológico permite conocer con exactitud las características de las funciones de las gónadas y estimar con confiabilidad las diferentes fases del ciclo gonádico y reproductivo de cualquier especie (Olivares *et al.*, 2001). El uso conjunto de los métodos macro y microscópicos ha permitido determinar con precisión las distintas etapas del ciclo reproductivo de numerosas especies, como los bivalvos *Arca pacifica* y *Cardita affinis* (Gorrostieta, 1997),

Dosinia ponderosa (Arreola-Hernández, 1997), los holotúridos *Neothyone gibbosa* e *Isostichopus fuscus* (Herrero-Perezrul, 1994), peces *Lutjanus peru* (Santamaría-Miranda et al., 2003) y algunas especies de pulpo como *Octopus mimus* (Ishiyama et al., 1999) y *O. vulgaris* (Idrissi et al., 2006).

Octopus hubbsorum, nombrado también como pulpo verde (Fig. 1) se distribuye en el Pacífico mexicano, desde el Golfo de California hasta las costas de Oaxaca (Fig. 2). Tiene una estrategia reproductiva semélpara. El patrón de desove es monocíclico, sus huevos son pequeños (Brusca, 1980) y la puesta ocurre en un periodo corto, al final de su ciclo de vida (Rocha et al., 2001).



Figura 1. *Octopus hubbsorum*.



Figura 2. Distribución de *Octopus hubbsorum*.

En el ámbito mundial el pulpo es uno de los recursos pesqueros tradicionales, ha sido explotado por más de 2000 años (López-Uriarte *et al.*, 2000). En México la pesca comercial de pulpos está basada principalmente en cinco especies: *Octopus maya* y *O. vulgaris* en el Golfo de México; *O. macropus*, *O. bimaculatus* y *O. hubbsorum* en el Océano Pacífico (SEMARNAP, 1999).

Los principales estados del Pacífico mexicano donde se captura este recurso son Jalisco, Sonora, Baja California Sur y Baja California, siendo el estado de Jalisco el que registra las mayores capturas (Anónimo, 2004) (Figs. 3 y 4). En el caso particular del Pacífico mexicano, existen escasos estudios biológicos sobre el recurso y ninguno de tecnología de captura, industrialización y comercialización por lo que su pesquería no se ha desarrollado plenamente (López-Uriarte *et al.*, 2000).

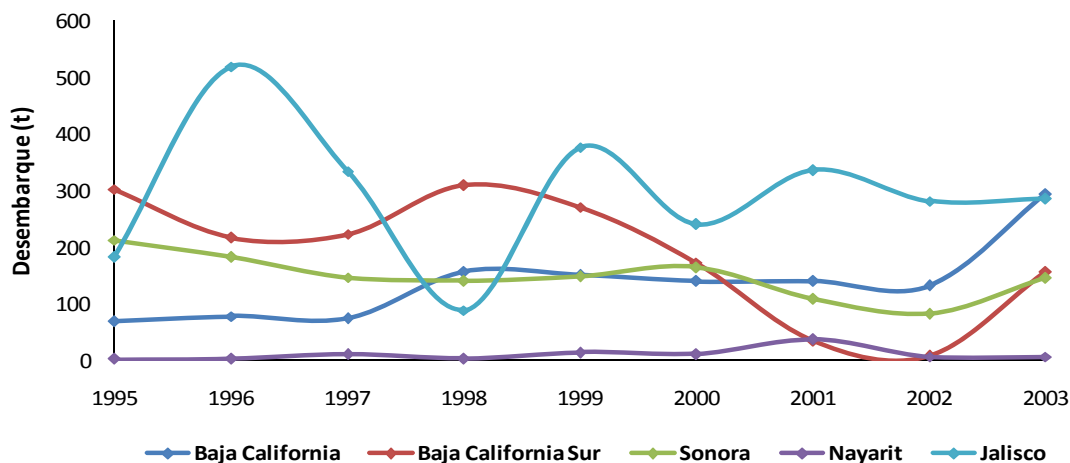


Figura 3. Captura de pulpo en toneladas. Principales estados productores (Ulloa et al., 2007).

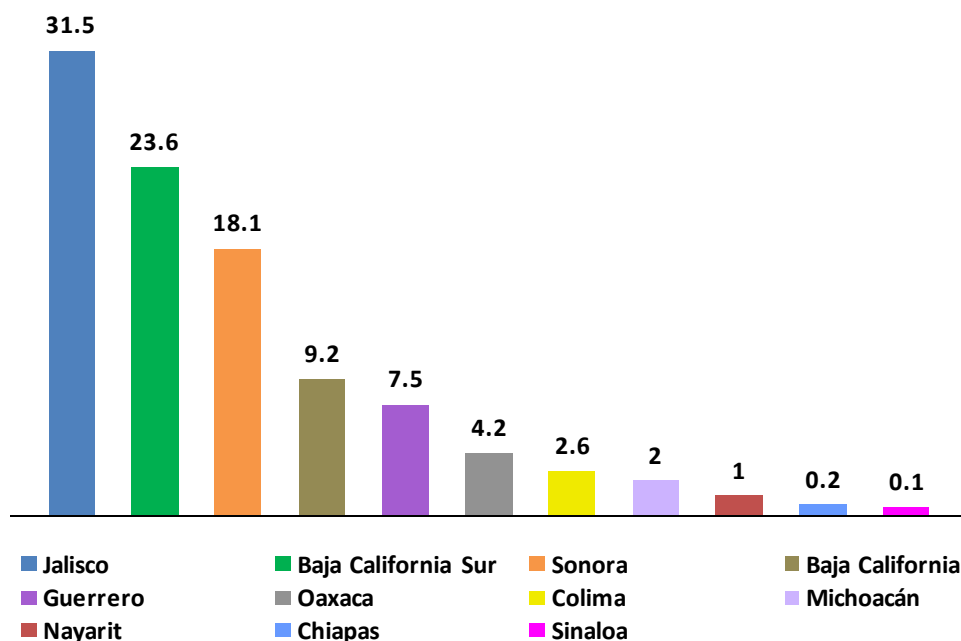


Figura 4. Captura promedio (%) de pulpo en el Pacífico mexicano de 1986 a 2001 (Anónimo, 2004).

En Baja California Sur se lleva a cabo una pesquería artesanal por parte de los pescadores locales. Es una pesquería de subsistencia para las comunidades pesqueras que se dirigen a este recurso cuando disminuyen las capturas de los

principales recursos pesqueros. Debido a las fluctuaciones en sus abundancias, existe alternancia entre la captura de este recurso, siendo *Octopus bimaculatus* capturado durante el invierno y *O. hubbsorum* y *O. rubescens* en el verano (Anónimo, 2004).

Durante el periodo de 1998 a 2004 se produjo anualmente una captura promedio de 185,145 t. La variación de factores ambientales provocan que las poblaciones de pulpo salgan de la zona de captura durante eventos como La Niña, mientras que en un evento El Niño, se acercan a la costa, haciéndose más vulnerable a la pesca (Anónimo, 2004). Entre 1998 y 1999, años en que hubo influencia del fenómeno El Niño se obtuvieron las mayores capturas y estas disminuyeron considerablemente del 2000 al 2002, coincidiendo con la presencia del fenómeno La Niña (Fig. 5). En las zonas de Los Cabos, Comondú y Loreto presenta potencial de desarrollo (Anónimo, 2004).

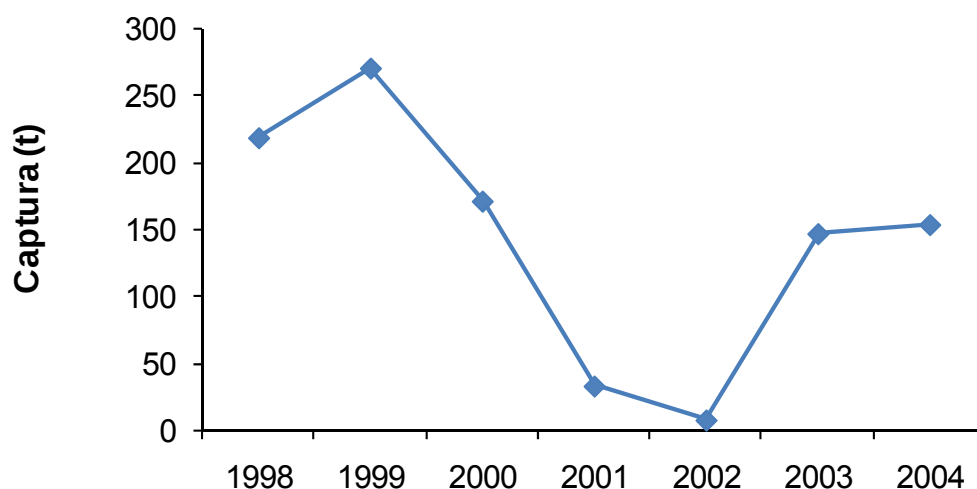


Figura 5. Captura anual de pulpo en Baja California Sur durante el periodo 1998-2004 (Anónimo, 2004).

O. hubbsorum es la especie de pulpo que representa las mayores capturas y que forma parte de una pesquería multiespecífica en las costas de Sinaloa (González-Rendón *et al.*, 1990), Oaxaca (Alejo-Plata y Cerdenarez-Ladrón de Guevara, 2001) y Jalisco (Ríos-Jara *et al.*, 2001).

Los pulpos son considerados resistentes a la presión pesquera debido a las características de su ciclo de vida tales como una temprana edad de madurez, rápido crecimiento y un ciclo de vida corto (Pierce & Guerra, 1994). Existen pocos datos sobre el estado de sus poblaciones en el Golfo de California. Los métodos de captura de estos organismos incluyen trampas, buceo y captura manual, métodos que tienen mínima captura incidental, así como impacto moderado en el hábitat. Sin embargo, el manejo de las pesquerías de pulpo se considera ineficaz, como única medida de manejo en el área se tienen los permisos de pesca comercial y la prohibición en el uso de químicos y compuestos clorados (Marsh & Fox, 2007).

Teniendo en cuenta la importancia de realizar estudios reproductivos en especies de importancia comercial y la escasez de conocimientos que se tiene sobre *O. hubbsorum*, el presente trabajo aborda aspectos sobre la biología reproductiva de *Octopus hubbsorum* en el Parque Nacional “Bahía de Loreto” por medio de métodos macro y microscópicos que permitan establecer de manera más precisa el ciclo reproductivo, así como describir la posible estrategia reproductiva que esta especie utiliza durante su ciclo de vida.

II. ANTECEDENTES

A nivel mundial el recurso pulpo ha sido estudiado principalmente en España, donde se realiza el cultivo experimental de *O. vulgaris* (Iglesias *et al.*, 1997; Moxica *et al.*, 2002). Otra de las especies que ha recibido mucha atención debido a su importancia pesquera es *O. mimus*, la mayoría de los estudios han sido enfocados a su biología (Cortez *et al.*, 1998; Araya *et al.*, 1999), pesquerías (Carvajal *et al.*, 2003) y se ha desarrollado su cultivo experimental (Baltazar *et al.*, 2000).

En México la especie de octópodo mejor conocida es *O. maya*, endémica de la península de Yucatán (Voss & Solís-Ramírez, 1966; Solís-Ramírez & Chávez, 1986), es uno de los recursos pesqueros más importantes de Yucatán y Campeche, donde se produce el 95% de la producción nacional (SEMARNAP, 1999).

A pesar de la importancia económica que presenta *Octopus hubbsorum* los estudios sobre aspectos biológicos, ecológicos y pesqueros aún son escasos. Berry (1953) describió a la especie y Brusca (1980) menciona que es un octópodo que habita la parte rocosa de la zona de entre mareas e infralitoral. Se reporta en 24 localidades de la costa Pacífico de México, desde el Golfo de California hasta Salina Cruz, en Oaxaca (Fig. 6), en el Golfo de California, esta especie se mezcla con poblaciones de *O. bimaculatus* y con poblaciones del menos común *O. rubescens* (Ríos-Jara *et al.*, 2001).

O. hubbsorum es considerada una especie anual, de rápido crecimiento, que puede llegar a vivir 14 meses, cuya temporada de desove dependerá de cambios ambientales y de la presión pesquera, su fecundidad promedio ha sido estimada en 172,046 huevos, su alimentación se basa principalmente en crustáceos, moluscos y peces óseos, además puede alimentarse de pulpos de la misma especie (López-Uriarte, 2006).

La mayoría de los estudios de *O. hubbsorum* han sido realizados en las costas de Jalisco, donde su pesquería es importante económicamente (Aguilar, 1995).

Época de reproducción

Con respecto a la reproducción de *O. hubbsorum*, se conoce el estudio realizado por Leyva-Villareal *et al.* (1987) en las costas de Sinaloa, donde se determina la época de reproducción con base en el índice de madurez, la cual comprende los meses de enero a junio, con un máximo de abril a junio. En ésta misma área González-Rendón *et al.* (1990) establecen la época de reproducción de febrero a junio con un máximo en este último mes.

En las costas de Jalisco Raymundo-Huizar (1995), determinó la madurez gonádica a través del factor de condición, encontró su valor máximo en agosto para ambos sexos, y una disminución de septiembre a octubre. Utilizando el mismo método Aguilar (1995) estima la madurez gonádica encontrando dos máximos reproductivos en los meses de junio y septiembre.

López-Uriarte (2006) estableció la temporada reproductiva de *O. hubbsorum* a través del índice gonádico entre los meses de febrero y junio para ambos sexos, encontró una relación inversa entre el índice gonádico y el de la glándula digestiva.

Existen estudios que describen la época de reproducción de otras especies del género *Octopus*. La temporada reproductiva de *O. bimaculatus* según lo descrito por Ambrose (1988) ocurre durante los meses de mayo, junio y julio, observó desoves en diferentes temporadas del año. Mientras que en *O. maya* la temporada de desove es de noviembre a diciembre (Solís-Ramírez, 1967). Silva *et al.* (2002) estudiaron a *O. vulgaris* en el Golfo de Cádiz y mencionan que se encuentran machos maduros y hembras inmaduras durante todo el año, estos autores encuentran hembras maduras a partir de febrero cuyo porcentaje se incrementa hasta alcanzar el pico reproductivo

en mayo, posteriormente ocurre un segundo pico de madurez en agosto. De igual manera Idrissi *et al.* (2006) confirman la existencia de dos ciclos reproductivos que se sobreponen en espacio y tiempo, uno de ellos entre marzo y julio y el segundo, de menor intensidad en septiembre para las hembras, mientras que para los machos la temporada reproductiva es más extensa, desde marzo hasta julio. Otero *et al.* (2007), al igual los autores anteriores mencionan dos periodos de desove en las hembras de *O. vulgaris* en la costa de Galicia, en primavera y a finales del invierno, siendo significativamente mayor el de primavera.

Rodríguez-Rúa *et al.* (2005) para *O. vulgaris* en la costa de Andalucía encuentra un incremento en la madurez en agosto, así como machos maduros durante casi todo el ciclo, la época de acoplamiento de los organismos se puede realizar antes de que las hembras alcancen la madurez (Hatanaka, 1979), en cuyo caso almacenan los espermatozoides hasta su madurez sexual (Perez & Haimovici, 1991; Rodríguez-Rúa *et al.*, 2003; Rodríguez-Rúa *et al.*, 2005)

Para las hembras del pulpo *O. mimus* en la costa peruana, Ishiyama *et al.* (1999) y Cardoso *et al.* (2004), observaron dos picos de desove, uno en primavera y otro en verano, encontraron además machos maduros durante casi todo el ciclo, pero en mayor proporción durante la primavera y verano. Un resultado similar para la proporción de machos en Chile es informado por Cortez *et al.* (1995).

Proporción sexual

Los trabajos realizados para *O. hubbsorum* muestran que la proporción sexual en la mayoría de los casos está sesgada hacia los machos. En las Bahía de Mazatlán Leyva-Villareal *et al.* (1987) encuentran una proporción sexual 1.38M:1H, mientras que González-Rendón *et al.* (1990) una proporción sexual de 1.78M:1H. De igual manera López-Uriarte (2006) en las costas de Jalisco encontró una proporción sexual de 1.18M:1H

A diferencia de los resultados anteriores Raymundo-Huizar (1995) y Aguilar (1995) mencionan que la proporción sexual en las costas de Jalisco esta sesgada hacia las hembras (0.82M:1H y 1M:1.48 respectivamente) durante la temporada de pesca del pulpo.

De igual manera en otras especies de pulpo es mayor la cantidad de registros que señalan la proporción sexual a favor de los machos. Para *O. vulgaris* Otero *et al.* (2007) encontraron una proporción sexual de 1M:0.88H, Silva *et al.* (2002), Rodríguez-Rúa *et al.* (2005) mencionan que aunque no se presentaron diferencias significativas, la proporción sexual estuvo sesgada hacia los machos.

Para el pulpo *O. mimus* se ha encontrado diferencia significativa en la proporción 1:1, favoreciendo a los machos, esto ha sido reportado por Ishiyama *et al.* (1999) y Cardoso *et al.* (2004) quienes encontraron una proporción sexual de 2.1M:1H y 0.6M:0.4H respectivamente.

Talla de madurez

Estudios previos señalan que los machos de *O. hubbsorum* alcanzan la madurez sexual a tallas menores que las hembras. Raymundo-Huizar (1995), estableció la talla mínima de captura en 45.8 cm de longitud total para hembras y 40.2 cm para machos, Aguilar (1995) estimó la talla de madurez sexual en 48.7 cm de longitud total para hembras y 35 cm para machos. López-Uriarte (2006) reporta una talla de madurez de 50.6 cm de longitud total para las hembras y de 30 cm para los machos, señala además que las hembras fueron significativamente mayores en peso y talla, sobre todo durante la época reproductiva.

En otras especies de pulpos también se ha mencionado la precocidad en la madurez de los machos. Los machos de *O. vulgaris* son sexualmente maduros a 850 g de peso, las hembras alcanzan la madurez sexual a los 1250 g de peso (Rodríguez-Rúa

et al., 2005). Otero *et al.* (2007) encontraron la madurez de las hembras en 1788.3 g y 903.4 g en machos. Para esta misma especie Idrissi *et al.* (2006) menciona que la talla de madurez fue de 12.1 cm de longitud del manto para machos y de 14.3 para hembras mientras que en *O. mimus* se ha reportado la talla de madurez de 9.5 cm de longitud del manto para machos y 12.5 cm para hembras (Ishiyama *et al.*, 1999).

Desarrollo gonadal

Diversos estudios han descrito el desarrollo gonadal de especies del género *Octopus* (Dia, 1988; Khallahi, 2001; Olivares *et al.*, 2001; Olivares *et al.*, 2003; Idrissi *et al.*, 2006). Se ha descrito que en los pulpos, la maduración de las células sexuales es acompañada por el desarrollo de las células foliculares. La vitelogénesis marca el inicio de la maduración sexual y produce un acelerado crecimiento del ovario debido a la posterior acumulación del vitelo, culminando con la reproducción de la especie (Boyle & Chevis, 1992).

A partir de un experimento en el que se mantuvo aislado a *O. vulgaris*, O'Dor y Wells (1973), demostraron que las células foliculares están involucradas en la síntesis de vitelo mediadas por el control de la gonadotropina por parte de la glándula óptica.

Khallahi (2001) describió que en *O. vulgaris* conforme avanza la síntesis de vitelo, gradualmente empuja hacia afuera las invaginaciones formadas por las células foliculares durante la madurez inicial. En esta especie (Dia, 1988) y en *O. mimus* (Olivares *et al.*, 2001) se ha demostrado que el desarrollo del ovocito no es sincrónico, sin embargo la puesta es total.

Khallahi (2001) e Idrissi *et al.* (2006), describieron el proceso de maduración gonadal de los machos de *O. vulgaris*, mencionan que la evolución de la madurez es centrípeta y similar a la de todos los cefalópodos. Las espermatogonias están localizadas en la periferia y se dividen en dos categorías: espermatogonias primarias y espermatogonias secundarias. En el núcleo de las espermatogonias primarias una

cromatina densa contiene los nucleolos y es reniforme, mientras en las espermatogonias secundarias son de mayor tamaño y la cromatina es menos densa. Los espermatocitos primarios son semejantes a las espermatogonias secundarias pero estos son más pequeños y su núcleo difuso. Las espermatidas son redondas, se van alargando hasta convertirse en espermatozoides (Khallahi, 2001; Olivares *et al.*, 2003; Idrissi *et al.*, 2006). Los espermatozoides son envueltos en los espermatóforos y pasan al saco espermatofórico, donde completan su maduración.

III. JUSTIFICACIÓN

La legislación pesquera en México establece que para permitir la captura de cualquier recurso marino éste debe ser evaluado. Sin embargo, este criterio por si solo no permite establecer el régimen de explotación del recurso. Por ello, aunado a su evaluación, es decir, al conocimiento de su disponibilidad o tamaño del stock, es necesario conocer aspectos poblacionales de la especie a explotar, tales como su abundancia, estructura poblacional, grupos de edades, crecimiento, mortalidad, reproducción y fecundidad, y así determinar su potencial pesquero (Baqueiro *et al.*, 1982).

El conocer el ciclo reproductivo de una especie y la relación que este guarda con los factores ambientales, es parte importante para poder comprender su potencial reproductivo y la capacidad de renovación de la población. Con tal información es posible establecer épocas de veda y tallas mínimas de captura.

El pulpo *Octopus hubbsorum* representa una de las principales especies de octópodos explotados en el Pacífico Mexicano, constituye casi el 100 % de las capturas en los estados de Jalisco y Colima, y ha sostenido la pesca artesanal durante los últimos 20 años (Ríos-Jara *et al.*, 2001). De igual manera para el área de Bahía de Loreto en Baja California Sur, esta especie es la que registra las mayores capturas, con aproximadamente el 95% del total de especies de octópodos (Villalejo-Fuerte, Com. pers.). Sin embargo, a pesar de la importancia de este recurso no existen estudios sobre su biología en la costa occidental del Golfo de California, en general los trabajos con esta especie son escasos, actualmente los estudios sobre el ciclo reproductivo para *O. hubbsorum* no tienen el respaldo del estudio histológico del desarrollo de la gónada (Leyva-Villareal *et al.*, 1987; Aguilar, 1995; López-Uriarte, 2006).

Por estas razones y porque en esta zona las capturas se realizan sin medidas de regulación, es necesario proporcionar información biológica que ayude a normar su

pesquería en esta área con las bases científicas y técnicas suficientes para asegurar su manejo adecuado.

Por lo tanto este estudio pretende contribuir al conocimiento de la biología reproductiva del pulpo *Octopus hubbsorum*, con el fin de brindar información que ayude a desarrollar su pesquería y tener un manejo sustentable de este recurso.

IV. OBJETIVOS

General

Conocer y analizar la biología reproductiva del pulpo *Octopus hubbsorum* en el Parque Nacional “Bahía de Loreto”.

Específicos

- Determinar la proporción sexual.
- Describir el desarrollo gonadal de *Octopus hubbsorum*.
- Describir el ciclo reproductivo de *O. hubbsorum*.
- Analizar la variación del índice gonádico, índice de la glándula digestiva y del factor de condición y su relación con la época de reproducción.
- Definir la relación del evento reproductivo del pulpo con la temperatura del mar.
- Determinar la talla de madurez sexual.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Área de estudio

El Parque Nacional “Bahía de Loreto” se ubica en el Golfo de California entre las coordenadas 25° 35' 18.41" y 26° 07' 48.72" N y 110° 45' 00" y 111° 21' 08.67" W, en la porción centro-este del estado de Baja California Sur (Fig. 6). Bahía de Loreto presenta una gran variedad de ambientes costeros marinos con fondos rocosos, arenosos, playas, cañadas, cañones submarinos y terrazas marinas. Lo anterior aunado a su situación geográfica, ha favorecido el establecimiento de una variedad de hábitats con una elevada diversidad biológica ya que aquí confluyen poblaciones de especies marinas representantes de las provincias biogeográficas Panámica (tropical) y Californiana (templada) (Bermúdez, 2003). Ahí se localizan las islas Coronado, Carmen, Danzante, Montserrat y Santa Catalina además de varios islotes. La superficie total del Parque es de 206,580.75 hectáreas (Diario Oficial de la Federación, 1994). Los muestreos se llevaron a cabo en la zona rocosa de las islas Carmen y Danzante y en la zona costera de Loreto.

El clima en las islas de acuerdo con la clasificación de Copen modificado por García (1986), es BW (h') hw (x') (e), es decir, muy árido, cálido con régimen de lluvias de verano, extremoso con oscilaciones térmicas diurnas entre 7 y 14 °C, con un promedio mensual de oscilación de 12 °C (Anónimo, 2000). El régimen pluvial se caracteriza por presentar el estiaje entre los meses de febrero a junio y el periodo de lluvias de agosto a septiembre. La precipitación media anual es del orden de 190 mm con promedio mensual de 16 mm (Anónimo, 2000). La temperatura media anual podría ubicarse en los 23.1 °C, en tanto que la mínima promedio es de 9 °C y se presenta durante el mes de enero y, la temperatura promedio máxima es de 37.5 °C y se registra durante agosto y septiembre (Anónimo, 2000). Respecto a las características específicas de la bahía, la temperatura del agua en superficie presenta variaciones altas, oscila entre 26 y 33 °C. La salinidad presenta pequeñas fluctuaciones a lo largo del año, así que la variación entre máximo y mínimo

superficial es menor a 1.0 ups (34.94 ups en abril-mayo y 35.177 ups en julio-agosto) (Anónimo, 2000). En la Bahía de Loreto la marea es mixta predominantemente diurna. La pleamar máxima registrada es de 0.746 m y la bajamar mínima de 0.900 m (Anónimo, 2000).

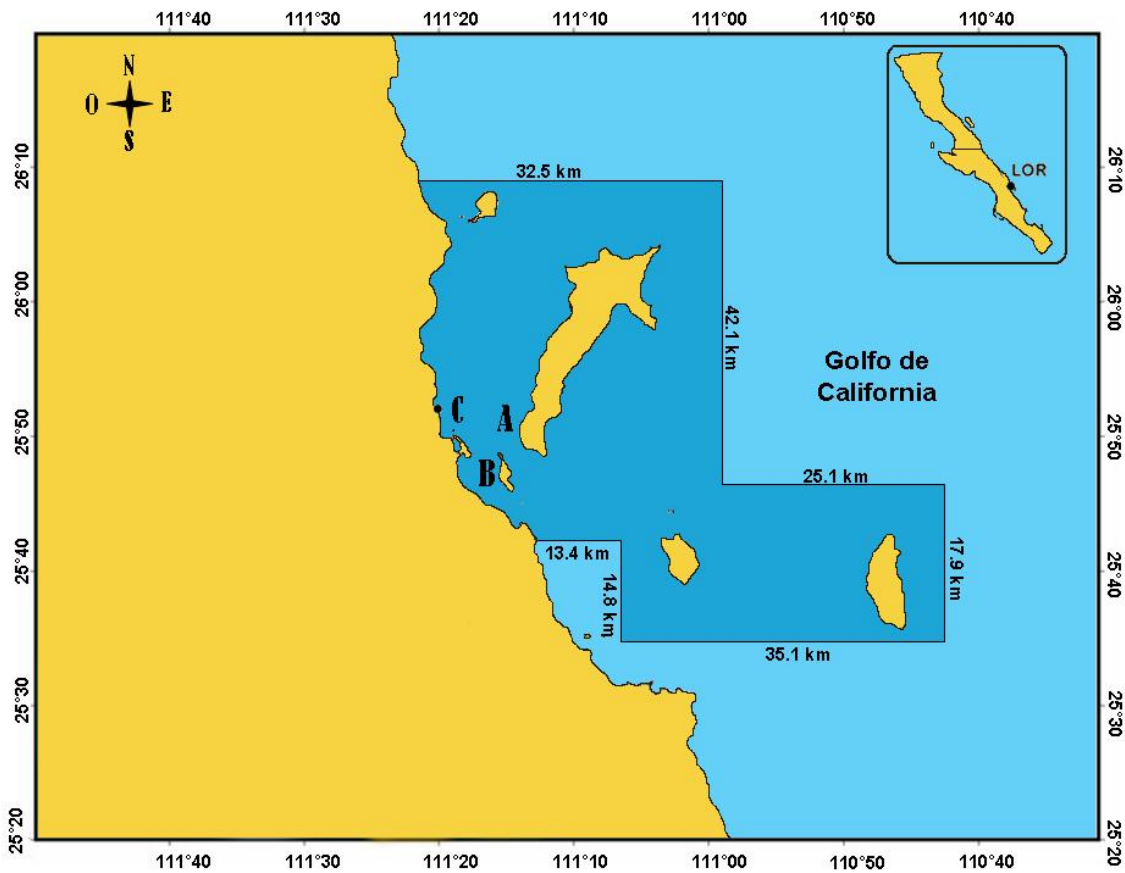


Figura 6.- Área de estudio. Parque Nacional “Bahía de Loreto”. A) Isla Carmen, B) Isla Danzante, C) Costa de Loreto.

5.2 Métodos de campo y laboratorio

Se realizaron muestreos mensuales de *O. hubbsorum* en Bahía de Loreto de febrero de 2006 a enero de 2007, mediante buceo libre a profundidades de 1 a 8 m, usando ganchos como arte de pesca y en algunas ocasiones sin el uso de éstos. Se tomaron registros de temperatura del mar a 2 m de profundidad para la zona de estudio mediante un registrador de temperatura StowAway® TidbiT® sumergible hasta 300 m, el cual mide temperaturas entre un rango de -4 a 37°C, $\pm 0,2$ °C de error total con lecturas de intervalos de 4 horas.

Los organismos colectados fueron preservados en hielo y una vez en el laboratorio se registró la longitud total, longitud del manto, el peso total, peso de las vísceras, peso de la gónada y peso de la glándula digestiva con una balanza electrónica Scout® Pro con precisión de 0.1 g.

5.3 Proceso histológico

Las gónadas fueron fijadas en formol neutro al 10%. Posteriormente se tomó una porción cúbica de ésta para ser sometida al proceso histológico. Las muestras se lavaron con agua corriente durante 24 horas, se deshidrataron en alcohol etílico a concentraciones crecientes y se incluyeron en parafina. Se obtuvieron cortes de 5 μ m de grosor por medio de un micrótopo de rotación. Posteriormente se eliminó la parafina con xilol, se hidrató en varios cambios de alcohol en concentraciones descendentes hasta llegar a agua destilada, los cortes fueron teñidos con hematoxilina de Harris y eosina acuosa al 1%. Finalmente se montaron las preparaciones en resina sintética para su observación al microscopio (Muñetón *et al.*, 2000).

5.4 Análisis histológico

Se realizó la clasificación de las fases de desarrollo gonadal mediante observaciones al microscopio de los cortes histológicos. Esta se basó en clasificaciones existentes para otras especies de pulpo, para hembras se utilizó la establecida por Cortez *et al.* (1998) para *O. mimus* y para machos la establecida por Rodríguez-Rúa *et al.* (2005) para *O. vulgaris*.

Se estableció el ciclo reproductivo mediante las frecuencias relativas de cada una de las fases de desarrollo gonadal durante el periodo de estudio.

5.5 Área de los ovocitos

Con el fin de evaluar el crecimiento de los ovocitos se midió el área de los mismos en cinco hembras elegidas al azar por cada mes. Utilizando un microscopio con cámara integrada se realizó la digitalización de imágenes de las preparaciones histológicas, posteriormente se midió el área de 100 ovocitos que presentaran el núcleo visible, con el fin de asegurar que se midieron ovocitos cortados a la mitad y no subestimar o sobrestimar su tamaño (Grant & Tyler 1983), utilizando el software Image Pro®. El programa fue calibrado con una micro-reglilla de 2 mm. Se graficaron los valores promedio mensuales del área de los ovocitos.

Se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis ($\alpha=0.05$) para identificar las posibles diferencias entre los valores promedio mensuales del área de los ovocitos y se correlacionaron estos valores con la frecuencia de hembras en fase de madurez y con los promedios mensuales del índice gonádico mediante una prueba de correlación de rangos de Spearman para saber si existe alguna relación entre estos.

5.6 Proporción sexual

Se determinó el sexo de cada organismo por medio del análisis histológico de las gónadas. Se registró la proporción de sexos total y mensual la cual se obtuvo dividiendo el número total de hembras entre el número total de machos. Se probó la proporción de sexos por medio del estadístico Ji^2 para ver si existía una desviación significativa de una proporción 1:1 (Sokal & Rohlf, 1979).

$$Ji^2 = \frac{\Sigma(O - E)^2}{E}$$

Donde:

O es la proporción de hembras ó machos observada.

E es la proporción de hembras ó machos esperados.

5.7 Índices morfofisiológicos

La reproducción y la condición son dos fenómenos interdependientes en los ciclos de vida de los organismos (Sibly & Callow, 1986). El grado en que la condición es afectada por la reproducción depende de la especie, pero en general la condición de especies semélparas es mucho más afectada que la de especies iteróparas (Callow, 1979).

5.7.1 Índice gonádico

El índice gonádico es una manera cuantitativa de estimar el ciclo gonádico de una especie (Gorrostieta, 1997). Este se calculó con el fin de tener un indicador de la actividad reproductiva empleando la formula utilizada por Hatanaka (1979).

$$IG = \frac{PG}{LT^3} \times 10^9$$

Donde:

LT es la longitud total.

PG es el peso de la gónada + peso del saco de Needham o + peso de los ovidictos.

Para facilitar las mediciones, debido a que en ocasiones las estructuras presentan un tamaño muy pequeño, el saco de Needham fue pesado junto con el testículo y los oviductos con el ovario.

Se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis ($\alpha=0.05$) entre sexos y para ambos sexos por separado, seguida de una prueba de comparación de medias de Tukey para identificar las posibles diferencias entre los valores promedio mensuales de este índice (Day & Quinn, 1989).

5.7.2 Índice de la glándula digestiva

El índice de la glándula digestiva se considera como un indicador de almacenamiento de sustratos energéticos en algunos moluscos (Villalejo-Fuerte *et al.*, 2005) y éste indica la relación entre el peso de la glándula digestiva y el peso total del organismo.

$$IGD = \frac{PGD}{PT} \times 100$$

Donde:

PGD es el peso de la glándula digestiva.

PT es el peso total del organismo.

En ambos sexos se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis ($\alpha=0.05$) para identificar las posibles diferencias entre los valores promedio mensuales de este índice. Se comparó el comportamiento del índice gonádico y el de la glándula digestiva para ambos sexos y se aplicó una prueba de correlación de rangos de Spearman para saber si existía alguna relación entre estos dos índices.

5.7.3 Factor de condición

El factor de condición indica la relación existente entre el volumen del organismo con relación a su talla, es un indicador de su estado físico. Este permite evaluar si el organismo ha ganado peso (por acumulación de proteínas y grasas de reserva) o lo ha perdido (ej. por la puesta) (Hernández-López, 2000).

$$FC = \frac{PE \times 100}{L^3}$$

Donde:

FC es el factor de condición.

PE es el peso eviscerado del organismo.

L es la longitud total del mismo.

Se realizó un análisis de variancia de Kruskal-Wallis ($\alpha=0.05$) para ambos sexos para identificar las posibles diferencias entre los valores promedio mensuales de este índice.

5.8 Talla de madurez

La talla de madurez es aquella en la cual el 50% de los organismos se encuentran reclutados a la reproducción (Somerton, 1980). Se estimó la talla de madurez al 50% de la frecuencia relativa acumulada de las hembras en fase de madurez y madurez

máxima (Somerton, 1980), ajustándola al modelo logístico, el cual se define mediante la siguiente ecuación:

$$Fra = \frac{a}{1 + be^{-cLT}}$$

Donde:

Fra es la frecuencia relativa acumulada de las hembras en fase de madurez y madurez máxima

LT es la longitud total del organismo.

a, b y c son parámetros del modelo.

VI. RESULTADOS

6.1 Estructura de tallas

Se recolectó un total de 281 organismos, de los cuales 119 fueron hembras y 162 machos (Tabla 1). La distribución de tallas de longitud total de la población de *Octopus hubbsorum* se presentó en un rango de 25.8 a 79 cm de longitud total (Fig. 7). Las hembras tuvieron una talla mínima de 30 cm y una máxima de 79 cm de longitud total. La talla promedio fue de 52.6 cm (± 0.96) de longitud total y 516 g (± 29.3) de peso total, y para machos se registró la talla mínima de 25.87 cm y máxima de 77 cm de longitud total, con una talla promedio de 50.6 cm (± 0.84) de longitud total y un peso promedio de 500.4 g (± 23.6).

La estructura de tallas de la población varió mensualmente. Las hembras alcanzaron tallas y pesos mayores que los machos, sin embargo estas diferencias no fueron significativamente diferentes (Kruskal-Wallis: $H(1,282)=2.367160$ $P=0.1239$). Ambos sexos tuvieron su talla promedio mínima en noviembre (38.8 ± 1.08 cm las hembras y 40.7 ± 1.4 cm los machos) y máxima en junio (66.8 ± 1.28 cm las hembras y 59.6 ± 0.9 cm) (Fig. 8). Al igual que en la longitud total, las hembras tuvieron el menor peso promedio en noviembre (214.4 ± 5.4 g de peso total) y el mayor en junio (1092.4 ± 16.2 g de peso total), mientras que en los machos estos valores no coincidieron ya que tuvieron el menor peso promedio en septiembre (257 ± 32.6 g de peso total) y el mayor en abril (831.9 ± 159.5 g de peso total).

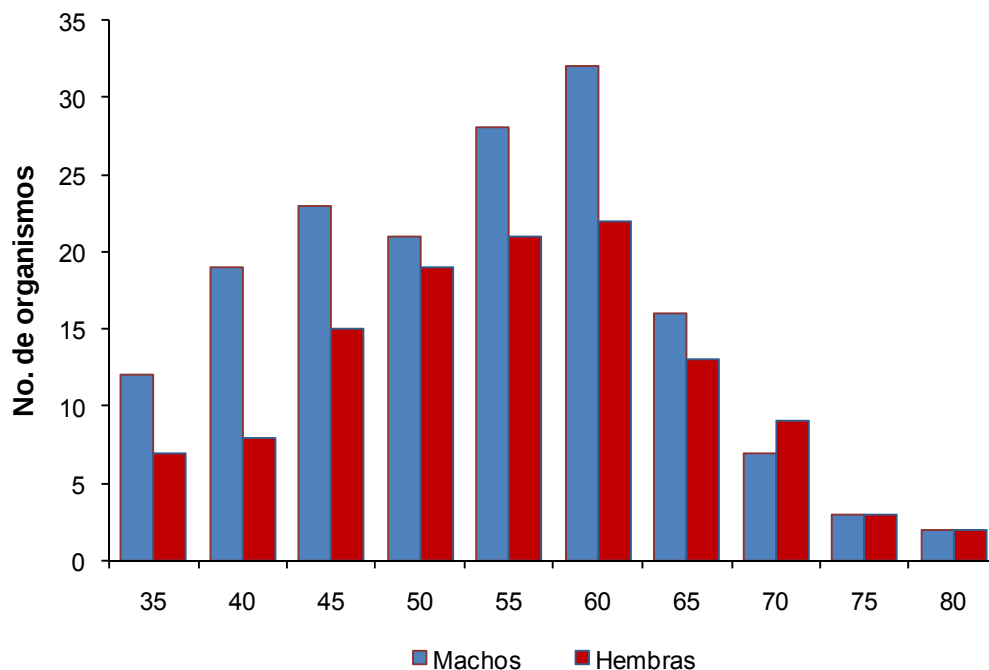


Figura 7. Estructura de tallas de la población de *Octopus hubbsorum* en el Parque Nacional “Bahía de Loreto”.

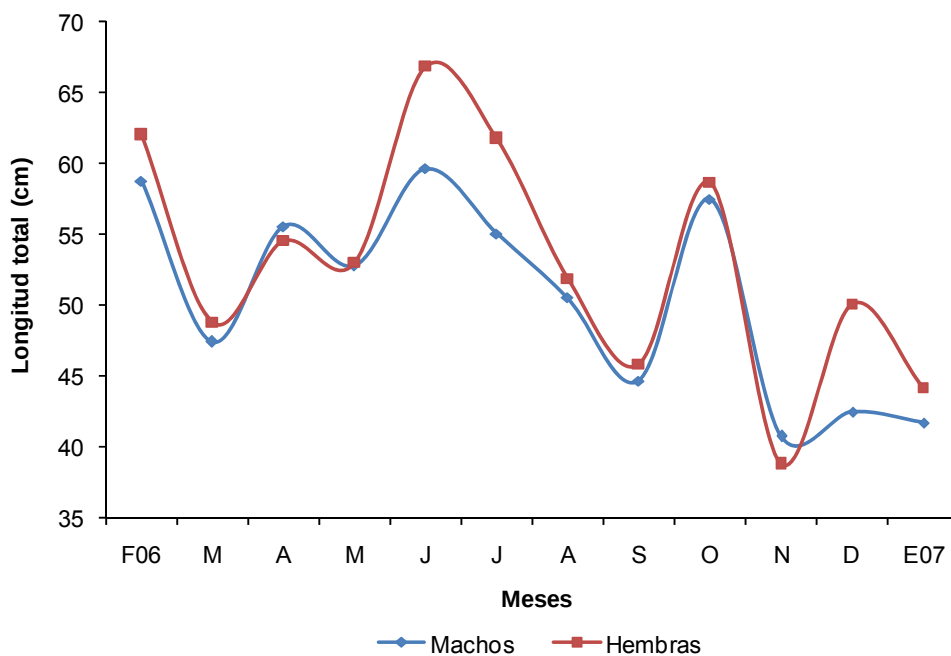


Figura 8. Variación mensual de las tallas de hembras y machos de *Octopus hubbsorum*.

6.2 Proporción sexual

6.2.1 Total

Se observó diferencia significativa en la proporción sexual total, la cual correspondió a 0.7H:1M ($Ji^2=6.58$, $P<0.05$) (Fig. 9, Tabla 1). Por lo que la proporción sexual total de hembras y machos no corresponde a 1:1.

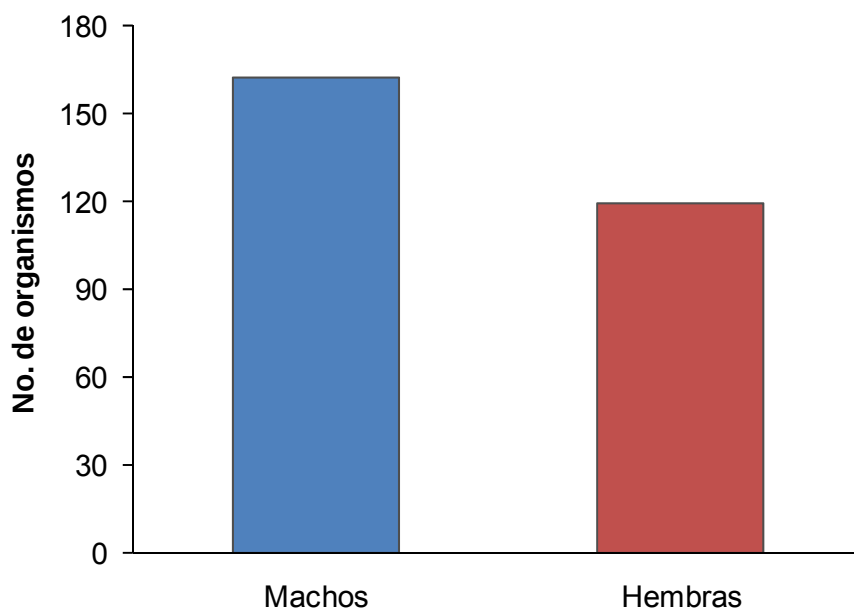


Figura 9. Frecuencia total de sexos de *Octopus hubbsorum* durante el periodo de muestreo.

6.2.2 Mensual

El análisis de proporción sexual mensual mostró ligero dominio de machos en la mayor parte del ciclo (Fig. 9), se encontraron diferencias significativas en la proporción esperada 1:1 en los meses de junio ($Ji^2=4.26$, $P<0.05$) y diciembre ($Ji^2=6.23$, $P<0.05$), favoreciendo a los machos en ambos casos (0.3H:1M y 0.2H:1M respectivamente) (Tabla 1, Fig. 10).

Tabla 1. Proporción sexual total y mensual, observada y esperada de *Octopus hubbsorum*. El asterisco indica diferencia significativa.

	Número	Número	Número	Frecuencia		Proporción	
Mes	hembras	machos	total	esperada	Ji ²	observada	P
F06	8	16	24	12	2.667	01:02	P>0.05
M	13	15	28	14	0.143	0.9:1	P>0.05
A	15	11	26	13	0.615	1.3:1	P>0.05
M	19	17	36	18	0.111	1.1:1	P>0.05
J	5	14	19	9.5	4.263	0.3:1	P<0.05*
J	14	15	29	14.5	0.034	0.9:1	P>0.05
A	12	16	28	14	0.571	0.7:1	P>0.05
S	14	18	32	16	0.5	0.8:1	P>0.05
O	3	7	10	5	1.6	0.4:1	P>0.05
N	8	16	24	12	2.667	01:02	P>0.05
D	2	11	13	6.5	6.231	0.2:1	P<0.05*
E07	6	6	12	6	0	01:01	P>0.05
Total	119	162	281	140.5	6.58	0.7:1	P<0.05*

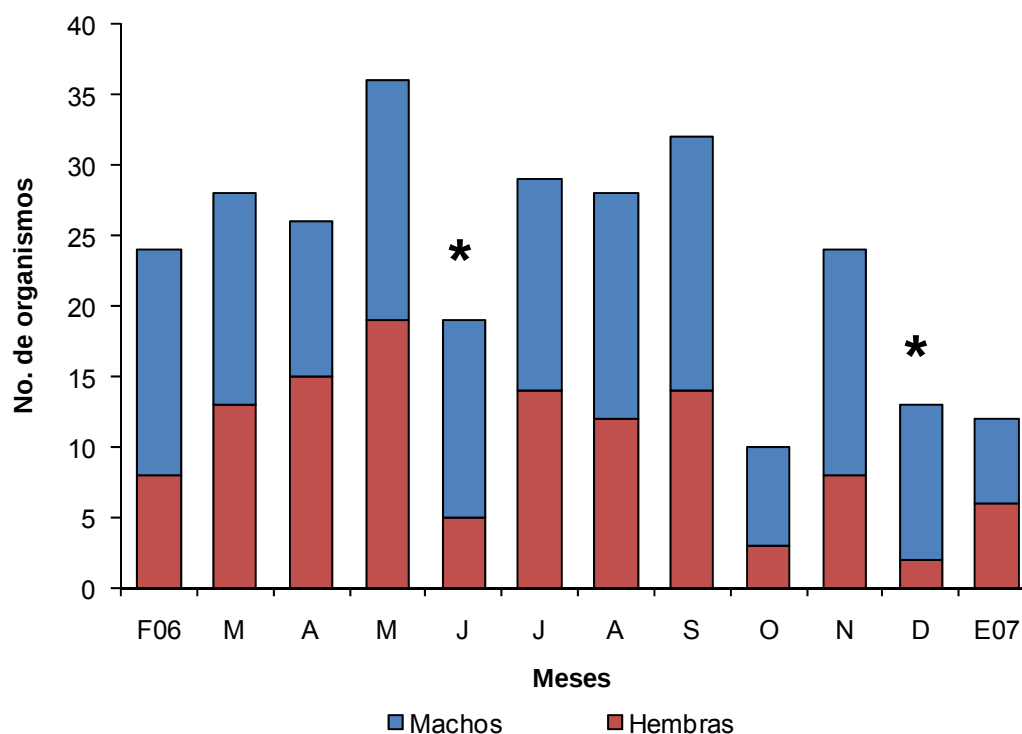


Figura 10. Frecuencia mensual de sexos de *Octopus hubbsorum* durante el ciclo de muestreo. El asterisco indica diferencia significativa.

6.2.3 Clase de talla

Se analizó la proporción sexual por clases de talla dividiendo las tallas de los organismos en intervalos de 5 cm tomando como medida la longitud total en centímetros. Se encontró diferencia significativa en la proporción del intervalo de talla de 40-44 cm ($J_i^2=4.48$, $P<0.05$) con predominio de los machos (0.4H:1M) (Tabla 2, Fig. 11). A partir del intervalo de tallas de 45 a 49 cm la proporción sexual fue 1:1.

Tabla 2. Proporción sexual por clase de talla de *Octopus hubbsorum*. El asterisco indica diferencia significativa.

Talla (cm)	Número hembras	Número machos	Número total	Frecuencia esperada	Ji ²	Proporción observada	P
35-39	7	11	18	9	0.889	0.6:1	P>0.05
40-44	8	19	27	13.5	4.481	0.4:1	P<0.05*
45-49	15	23	38	19	1.684	0.6:1	P>0.05
50-54	19	21	40	20	0.100	0.9:1	P>0.05
55-59	21	28	49	24.5	1.000	0.7:1	P>0.05
60-64	22	32	54	27	1.852	0.7:1	P>0.05
65-69	13	16	29	14.5	0.310	0.8:1	P>0.05
70-74	9	7	16	8	0.250	1.3:1	P>0.05
75-79	3	3	6	3	0.000	1:1	P>0.05
80-84	2	2	4	2	0.000	1:1	P>0.05

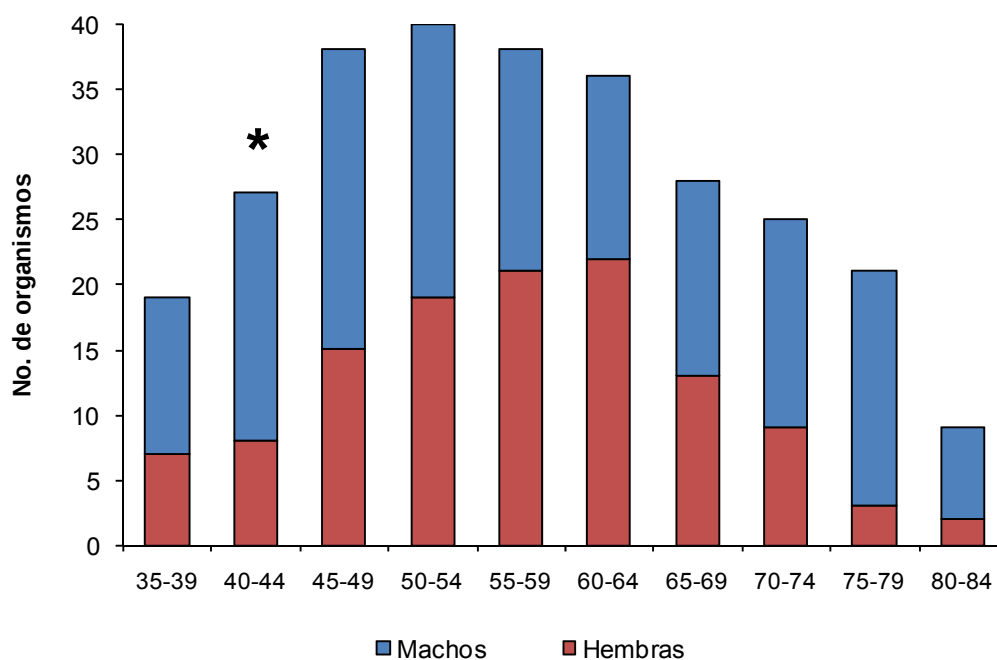


Figura. 11. Frecuencia de sexos por clase de talla de *O. hubbsorum*. El asterisco indica diferencia significativa.

6.3 Descripción macroscópica de las gónadas

6.3.1 Hembras

El sistema reproductor de las hembras consta de un ovario, que desemboca en dos oviductos (Fig. 12). El ovario se sitúa en la parte posterior de la cavidad del manto y es de forma redonda. Cada uno de los componentes del sistema reproductor va aumentando de tamaño conforme avanza la maduración gonadal. Al inicio el ovario y las glándulas oviductales son pequeños, redondos y translúcidos, van tomando un color blanco crema y finalmente tienen un color amarillo. Se observa un disco gris que rodea a las glándulas oviductales que va tomando un color más oscuro y aumentando de tamaño conforme alcanza la madurez máxima.

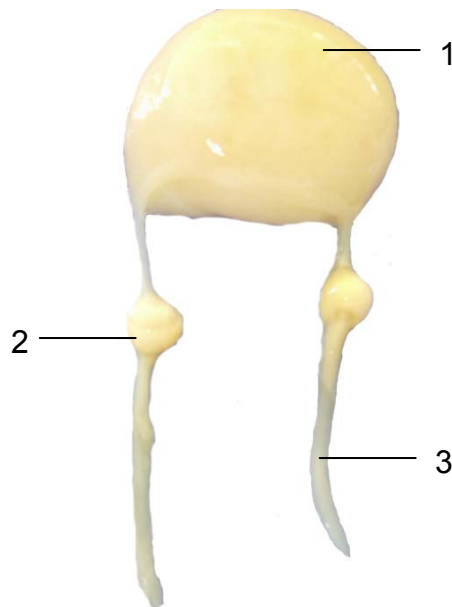


Figura 12. Sistema reproductor femenino de *Octopus hubbsorum*. 1) Ovario, 2) Glándula oviductal, 3) Oviducto.

6.3.2 Machos

El sistema reproductor de los machos de *O. hubbsorum* se compone de un testículo, un saco espermatofórico y de un pene (Fig. 13). Al igual que en las hembras el testículo aumenta de tamaño conforme madura pero alcanza un menor tamaño que el ovario. Al inicio el testículo blanco y el saco espermatofórico es transparente, no cambia mucho su coloración al aumentar la maduración aunque puede llegar a observarse un color rojizo en la base del saco espermatofórico.

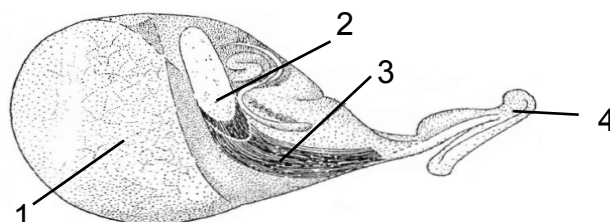


Figura 13. Sistema reproductor masculino de *Octopus hubbsorum*. 1) Testículo, 2) saco espermatofórico, 3) espermatóforos, 4) pene. Figura tomada de Dia & Goutschine (1990)

6.4 Desarrollo gonadal

Basado en las clasificaciones propuestas por Cortez *et al.* (1998) y Rodríguez-Rúa *et al.* (2005) modificada para *Octopus hubbsorum* se establecieron las siguientes fases de desarrollo gonadal:

6.4.1 Hembras

- I. **Inmadura.** Ovocitos en forma ovoide con núcleo y nucleolo visibles y centrales, se encuentran rodeados por una capa de células foliculares. Se observa gran cantidad de tejido conjuntivo (Figs. 14 y 15).

- II. **En desarrollo.** Los ovocitos son alargados, rodeados por una doble capa de células foliculares. El epitelio empieza a invaginarse en el ovocito por la intensa multiplicación de células foliculares (Fig. 16).
- III. **Madurez inicial.** Ovocitos con gran incremento de tamaño, citoplasma completamente vitelado, presencia de invaginaciones evidentes (Figs. 17 y 18). El ovario se encuentra lleno de folículos en diferentes grados de acumulación de vitelo.
- IV. **Madurez máxima.** Ovocitos alargados, pérdida de las invaginaciones por la gran cantidad de vitelo. Los ovocitos están listos para la ovulación (Fig. 19).

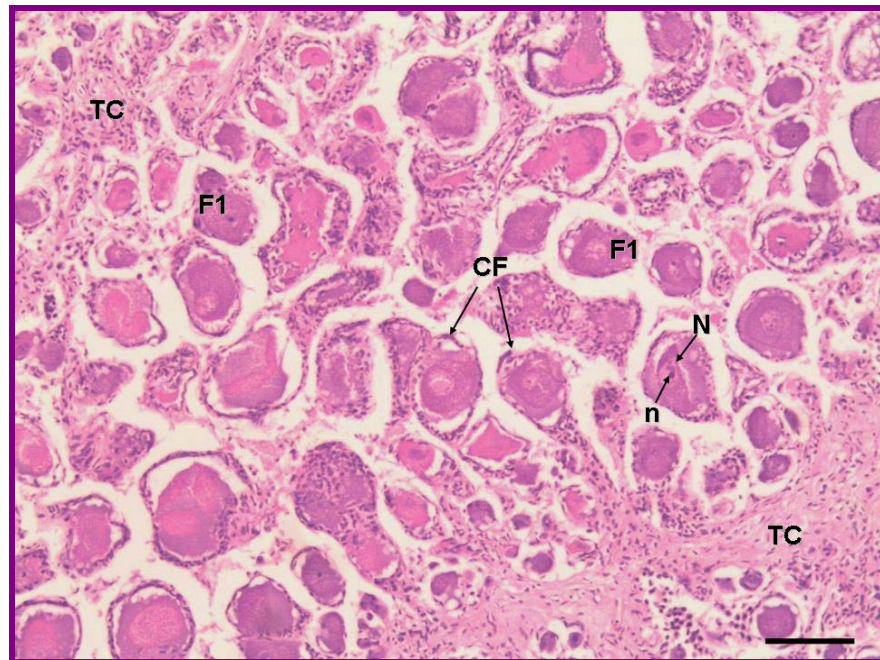


Figura 14. Corte histológico de la gónada femenina de *Octopus hubbsorum* en fase I (inmadura). Tejido conjuntivo (TC), folículos primarios (F1), células foliculares (CF), núcleo (N), nucleolo (n). Foto a 10x. Barra = 0.1 mm.

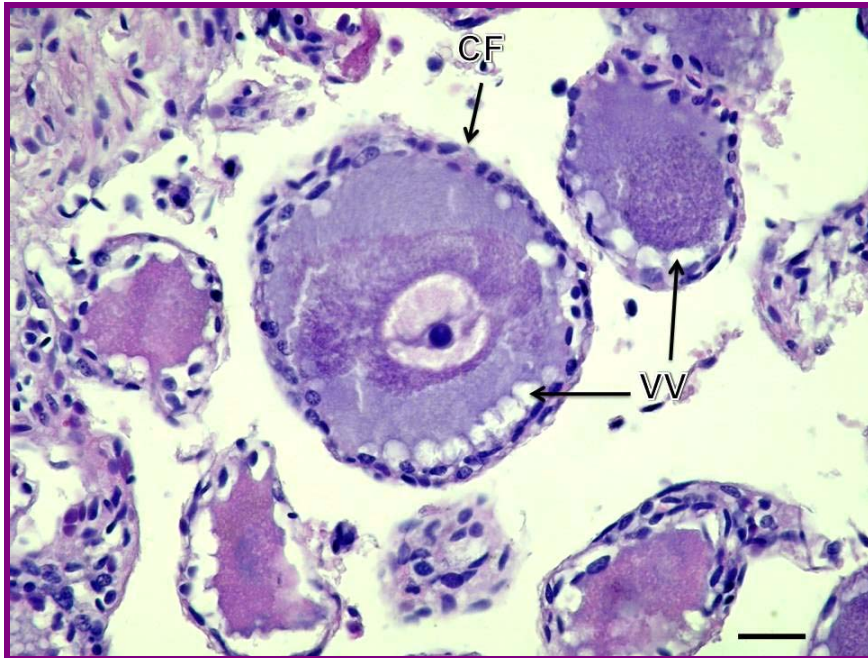


Figura 15. Corte histológico de la gónada femenina de *Octopus hubbsorum* en fase I (inmadura). Células foliculares (CF), vacuolas vitelinas (VV). Foto a 40x. Barra=0.1 mm.

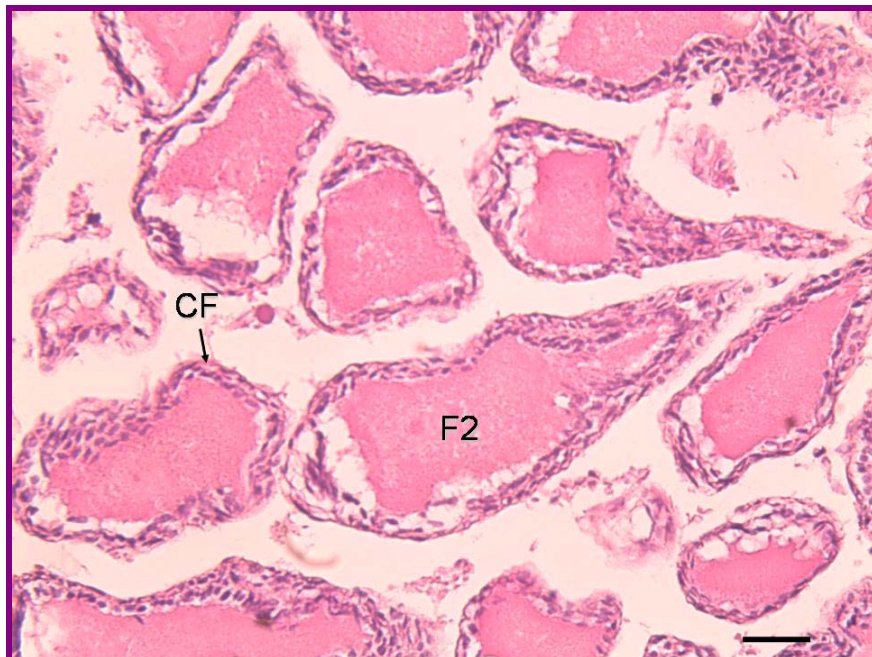


Figura 16. Corte histológico de la gónada femenina de *Octopus hubbsorum* en fase II (en desarrollo). Folículos secundarios (F2), células foliculares (CF). Foto a 20x. Barra=0.1 mm.

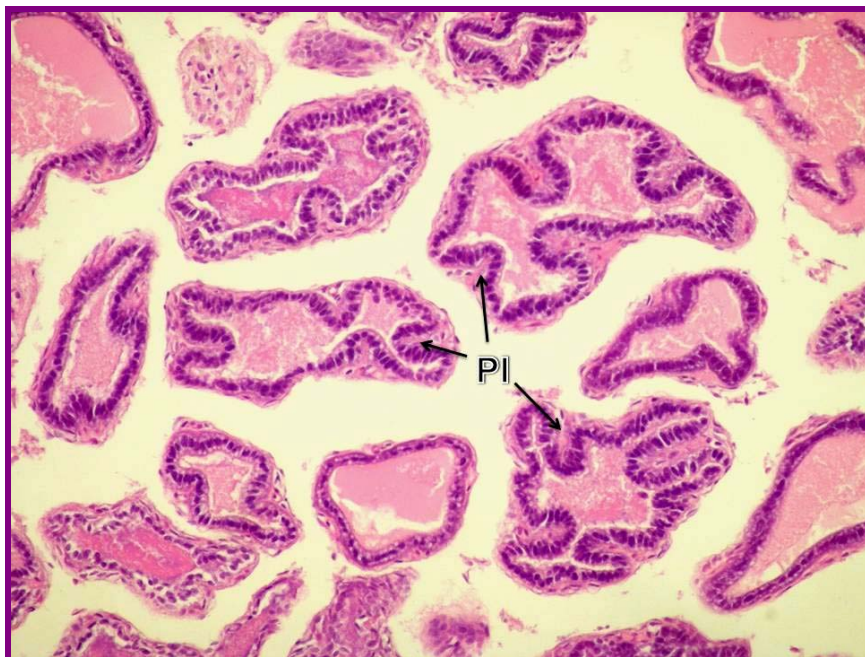


Figura 17. Corte histológico de la gónada femenina de *Octopus hubbsorum* en fase III (madurez inicial). Pliegues intraepiteliales (PI). Foto a 20x. Barra=0.1 mm.

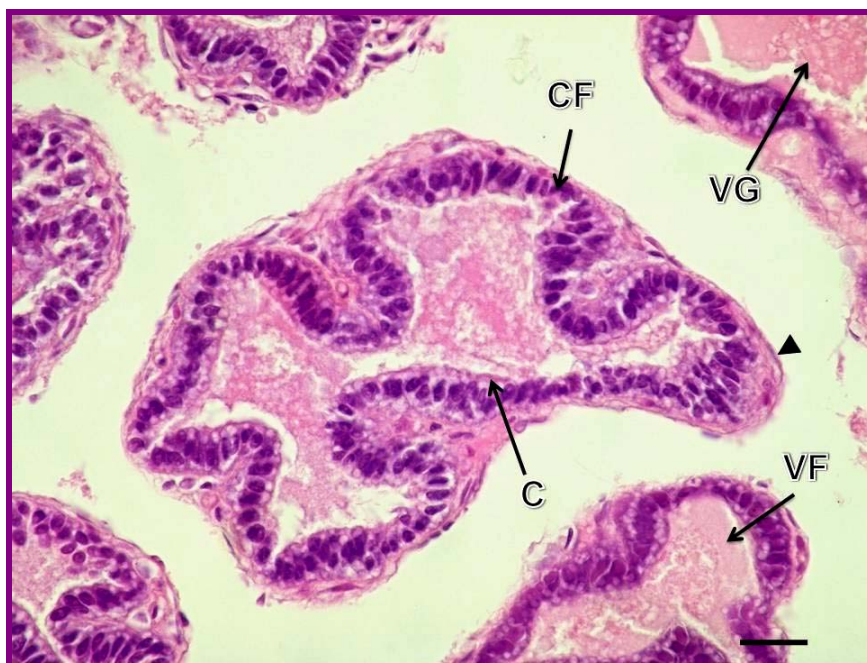


Figura 18. Corte histológico de la gónada femenina de *Octopus hubbsorum* en fase III (madurez inicial). Células foliculares (CF), gránulos de vitelo (VG), plaquetas de vitelo fusionadas (VF), corión (C), capa de células planas (▶). Foto a 40x. Barra=0.1 mm.

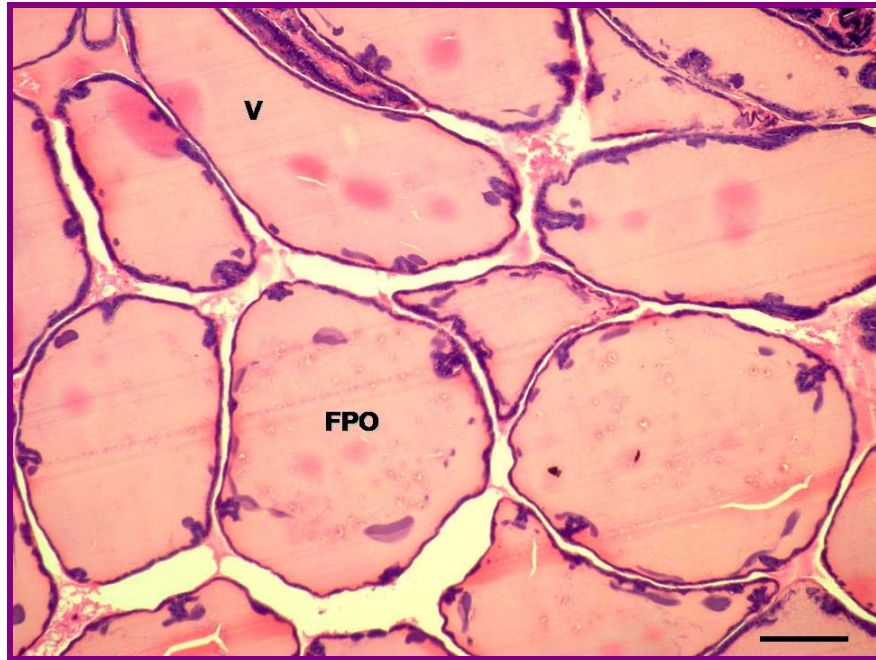


Figura 19. Corte histológico de la gónada femenina de *Octopus hubbsorum* en fase IV (madurez máxima). Folículos preovulatorios (FPO), vitelo (V). Foto a 10x. Barra=0.1 mm.

6.4.2 Machos

- I. **Inmaduro.** Los túbulos están bien definidos pero son pequeños. Se observan espermatogonias en las paredes del túbulo y algunos espermatoцитos, así como gran cantidad de tejido conjuntivo (Figs. 20 y 21).
- II. **En desarrollo.** Se observan espermatoцитos abundantes en la pared de los túbulos seminíferos, algunas espermátidas y una pequeña cantidad de espermatozoides (Figs. 22 y 23).
- III. **Madurez.** Los túbulos seminíferos son grandes, se observan pocos espacios vacíos entre las células. Abundan las espermátidas y espermatozoides en la parte central del lumen (Fig. 24).
- IV. **Eyaculado.** Se observan espacios vacíos, indicando que los espermatozoides han sido expulsados del testículo y transportados hacia los espermatóforos (Fig. 26). Ruptura de túbulos seminíferos. Se aprecian algunos espermatoцитos, (Fig. 25).

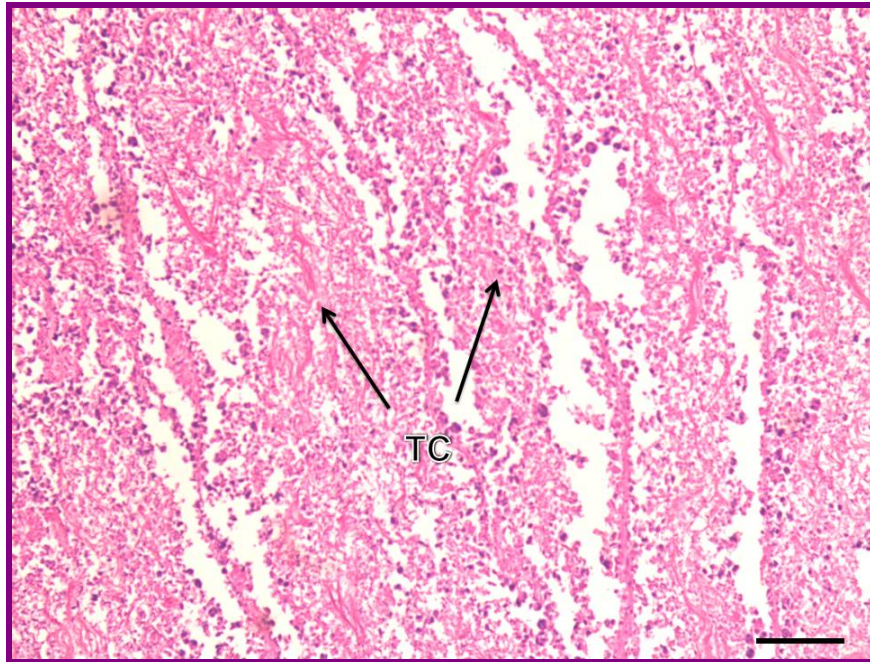


Figura 20. Corte histológico de la gónada masculina de *Octopus hubbsorum* en fase I (inmaduro). Tejido conjuntivo (TC). Foto a 10x. Barra=0.1 mm.

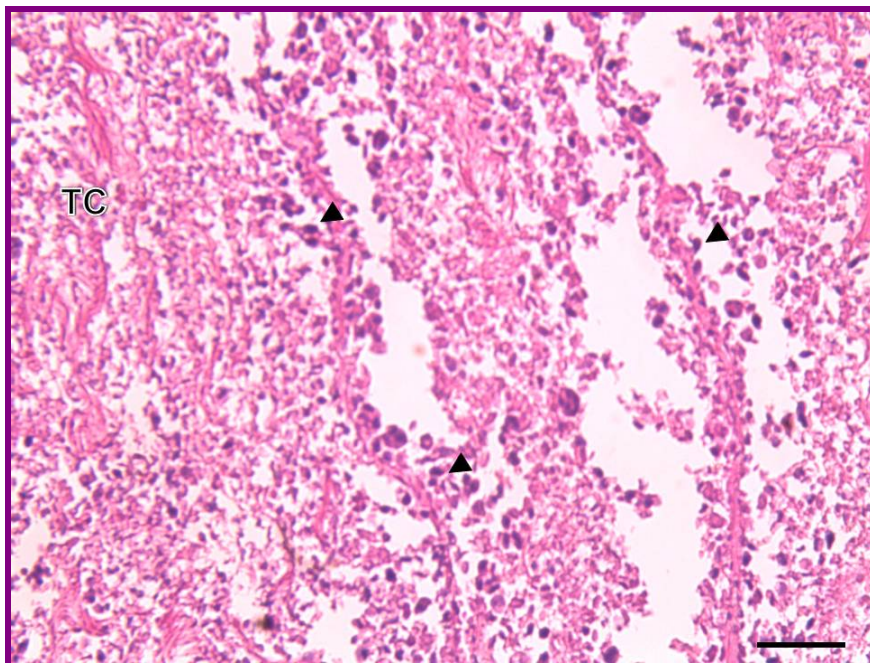


Figura 21. Corte histológico de la gónada masculina de *Octopus hubbsorum* en fase I (inmaduro). Tejido conjuntivo (TC), espermatocitos (►). Foto a 20x. Barra=0.1 mm.

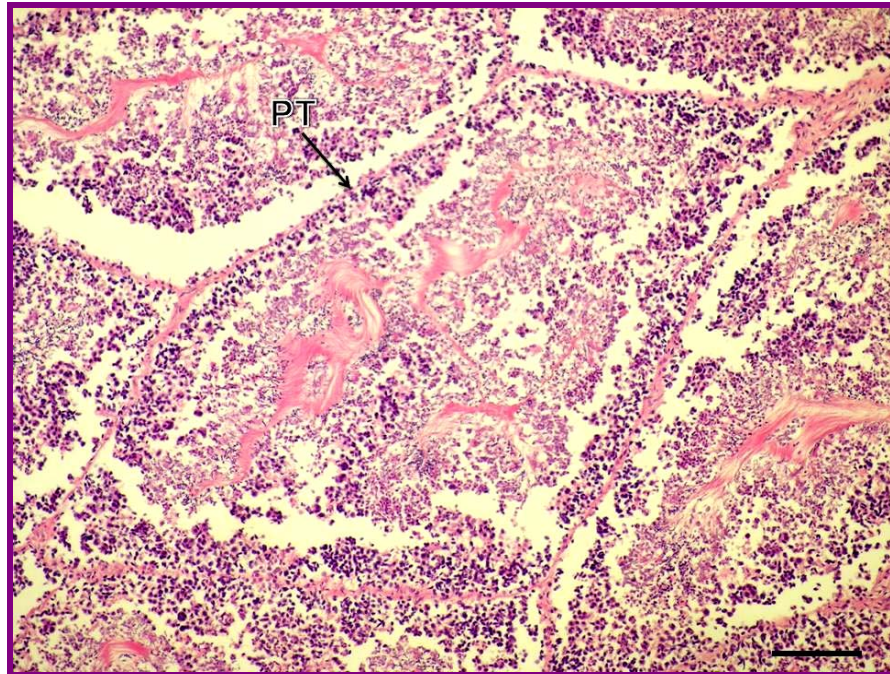


Figura 22. Corte histológico de la gónada masculina de *Octopus hubbsorum* en fase II (en desarrollo). Pared del túbulo (PT). Foto a 10x. Barra=0.1 mm.

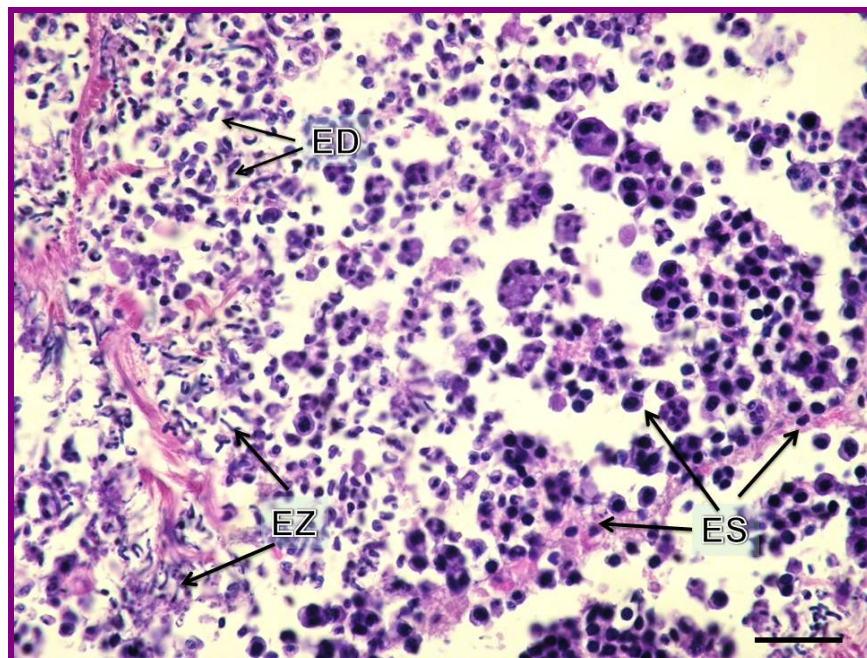


Figura 23. Corte histológico de la gónada masculina de *Octopus hubbsorum* en fase II (en desarrollo). Espermátocitos (ES), espermátidas (ED), espermatozoides (EZ). Foto a 40x. Barra=0.1 mm.

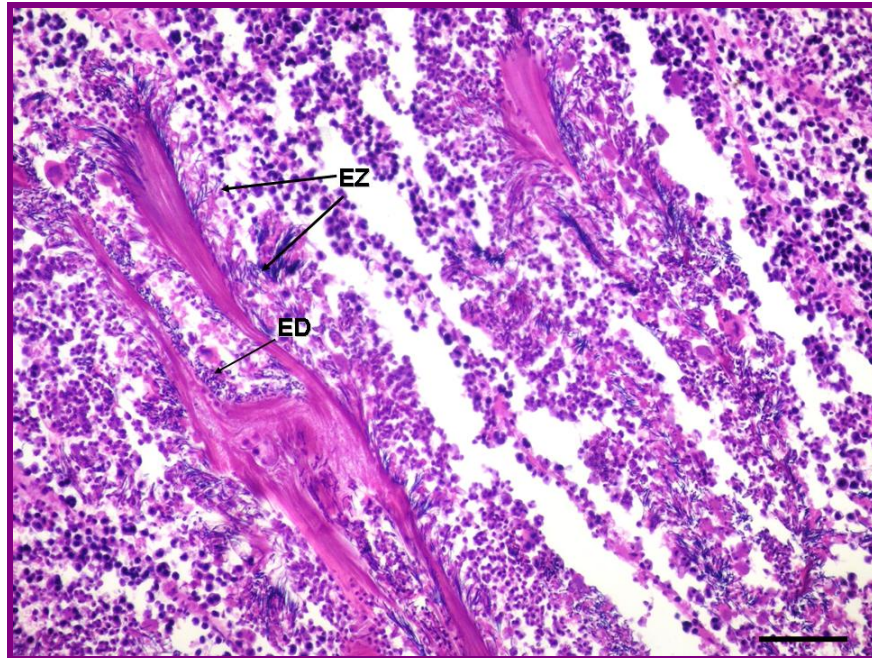


Figura 24. Corte histológico de la gónada masculina de *Octopus hubbsorum* en fase III (madurez). Espermátidas (ED), espermatozoides (EZ). Foto a 20x. Barra=0.1 mm.

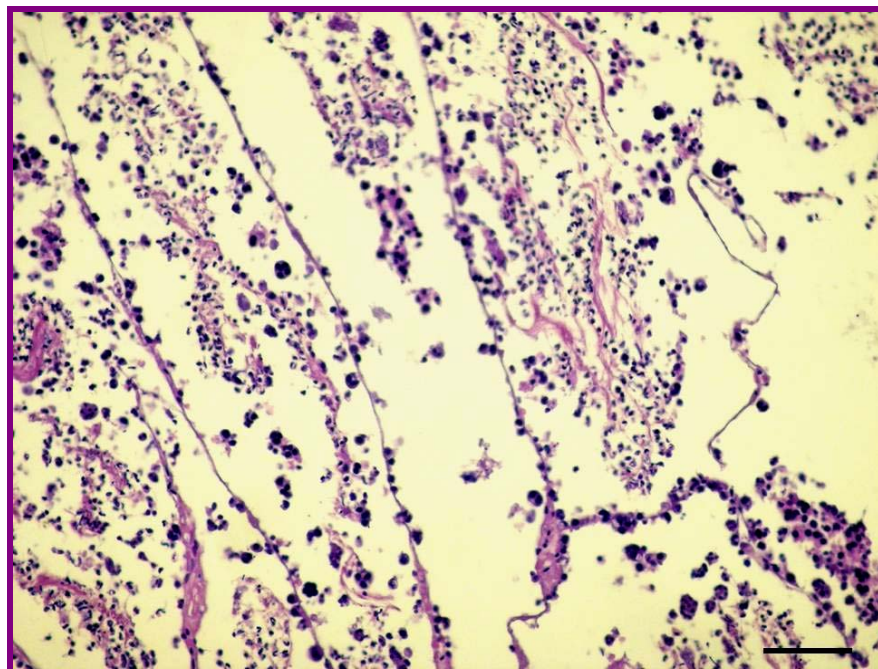


Figura 25. Corte histológico de la gónada masculina de *Octopus hubbsorum* en fase IV (ejaculado). Foto a 20x. Barra=0.1 mm.

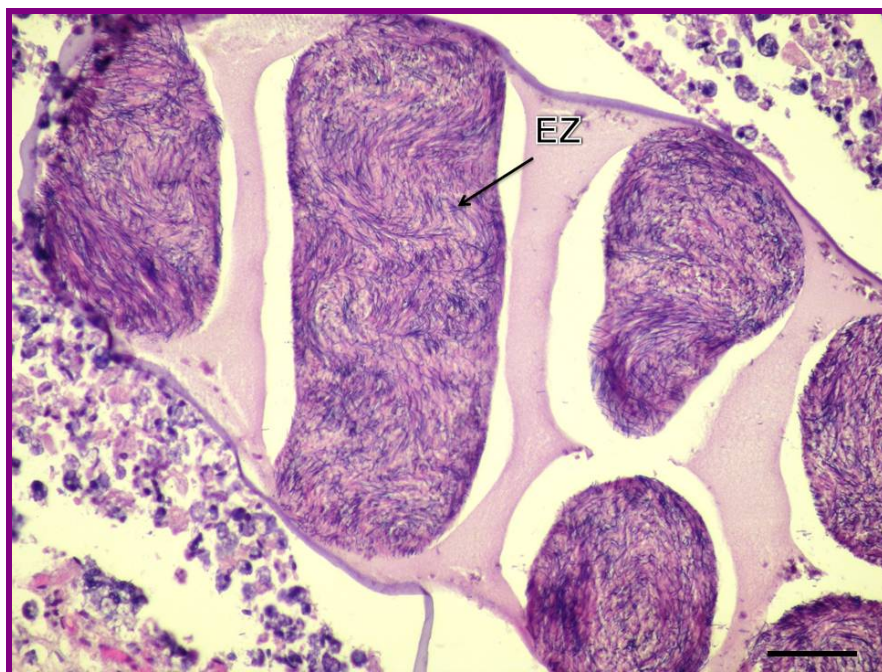


Figura 26. Corte histológico de la gónada masculina de *Octopus hubbsorum*. Se observa un espermatóforo almacenando espermatozoides (EZ) que han sido eyaculados del testículo. Foto a 20x. Barra=0.1 mm

6.5 Ciclo reproductivo

El ciclo reproductivo de *O. hubbsorum* presentó dos temporadas de reproducción, una entre los meses de febrero y marzo, y otra de mayor intensidad en la temporada cálida, entre los meses de junio y noviembre (Figs. 27 y 28).

6.5.1 Hembras

Se observaron hembras inmaduras durante casi todo el ciclo. La gametogénesis se intensificó en abril (40%). Se encontraron hembras maduras a partir de mayo (15.79%) y hasta el mes de septiembre (21.42%), indicando un pico de reproducción máxima en junio (100%). Se observó otro pico de madurez, aunque de menor intensidad en febrero (50%) (Figs. 27 y 29).

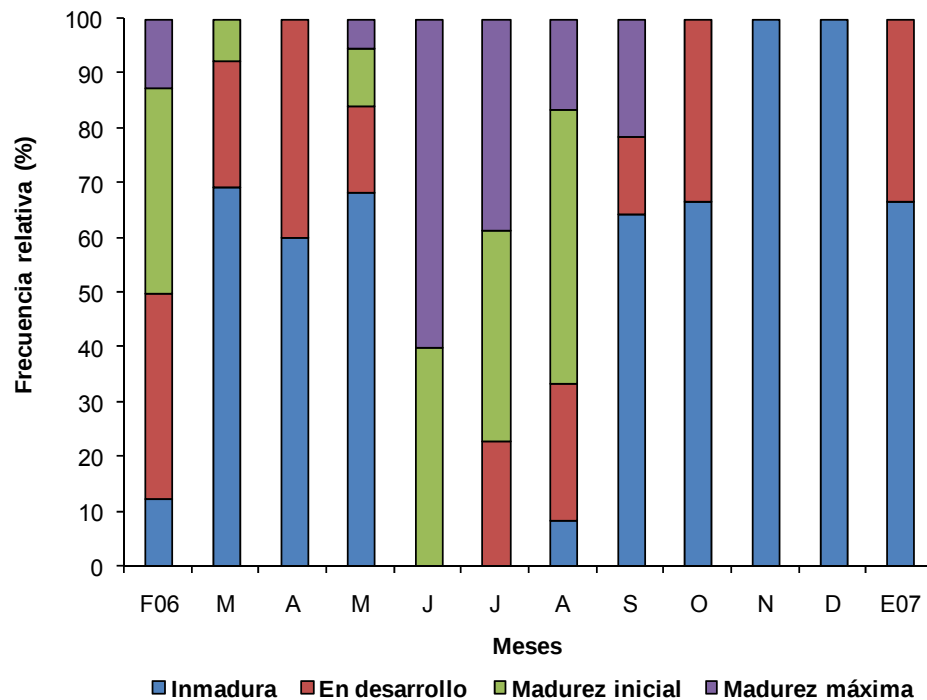


Figura 27. Porcentaje de las fases de desarrollo gonadal de las hembras de *Octopus hubbsorum* durante el ciclo de muestreo.

6.5.2 Machos

Aunque se encuentran machos maduros en casi todo el ciclo, al igual que en las hembras, se pudieron observar dos máximos de madurez, uno en el periodo de julio a septiembre y otro en el periodo de enero a marzo. La gametogénesis se intensificó a partir de abril (72.72%), continuando en mayo (76.47%). La temporada reproductiva se inició en junio (30.76%), alcanzando en agosto el pico de máxima reproducción (93.75%) y terminando en noviembre (62.50%), posteriormente se observó un alto porcentaje de machos eyaculados (90%) (Figs. 28 y 29).

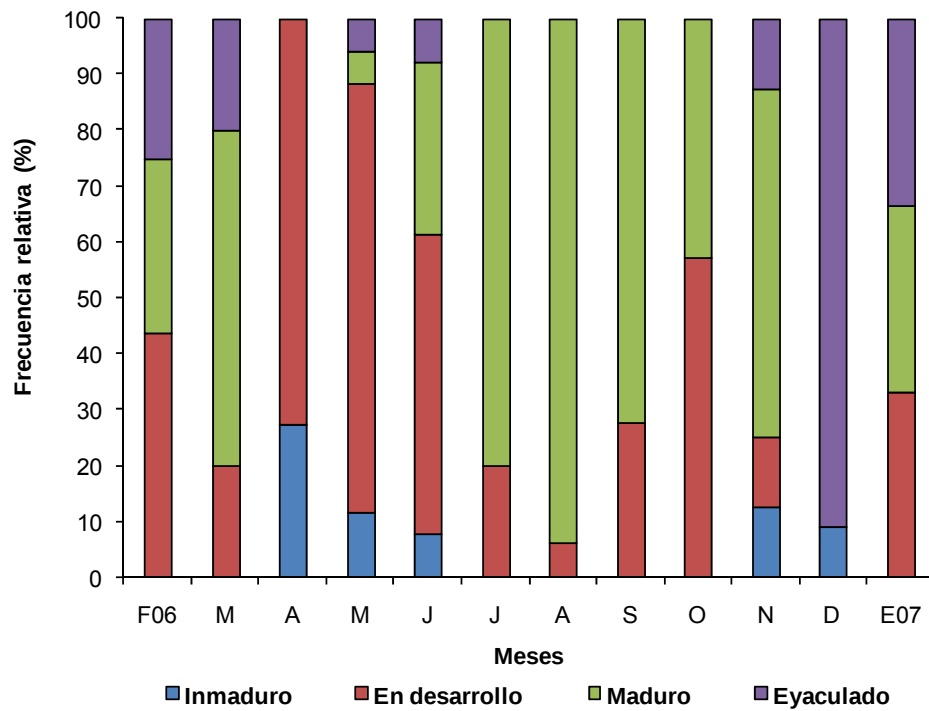


Figura 28. Porcentaje de las fases de desarrollo gonadal de los machos de *Octopus hubbsorum* durante el ciclo de muestreo.

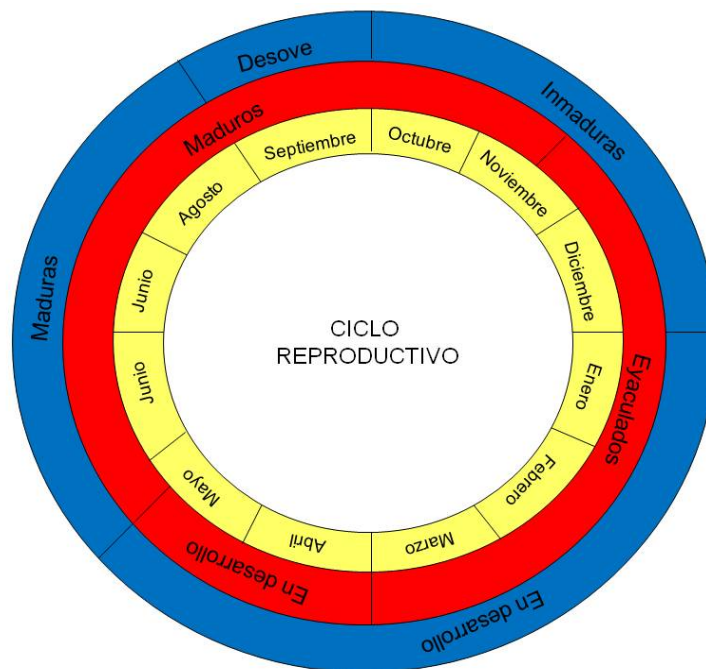


Figura 29. Ciclo reproductivo del pulpo *Octopus hubbsorum* en el Parque Nacional "Bahía de Loreto".

6.6 Área de los ovocitos

Durante el ciclo se obtuvo un área promedio de los ovocitos de $38.19 \text{ mm}^2 (\pm 1.49)$. Se encontró una gran variación en el área de los ovocitos; la menor área registrada fue de 0.50 mm^2 y la mayor de 1530.19 mm^2 .

Se obtuvo el promedio del área de los ovocitos en cada uno de los estadios del ciclo gonádico. En la fase I (inmaduro) el promedio fue de $23.82 \text{ mm}^2 (\pm 3.50)$, fase II (en desarrollo) $27.66 \text{ mm}^2 (\pm 3.31)$, fase III (madurez inicial) $35.88 \text{ mm}^2 (\pm 3.46)$ y fase IV (madurez máxima) $495.11 \text{ mm}^2 (\pm 16.53)$.

La prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas entre los promedios mensuales del área de los ovocitos (Kruskal-Wallis: $H(11, 5326)=1843.537$, $P=0.000$). Se observaron fluctuaciones de los valores promedio mensuales del área de los ovocitos a través del ciclo. Se encontró un valor promedio alto en febrero ($89.92 \pm 6.67 \text{ mm}^2$), a partir de abril se observó un incremento en el área de los ovocitos ($122.56 \text{ mm}^2 \pm 11.27 \text{ mm}^2$), para alcanzar un segundo pico en julio, el cual fue el mayor valor promedio. Posteriormente se observó un decremento hasta el mes de diciembre con $4.81 \text{ mm}^2 (\pm 0.14)$ (Tabla 3, Fig. 30).

Tabla 3. Valores promedio mensuales y desviación estándar del área de los ovocitos de *Octopus hubbsorum*.

Mes	Media	DE
Febrero 06	89.92 ± 6.67	149.26
Marzo	11.65 ± 0.51	11.94
Abril	9.37 ± 0.31	6.6
Mayo	29.34 ± 2.76	60.09
Junio	50.87 ± 9.15	179.79
Julio	122.65 ± 11.27	218.16
Agosto	61.43 ± 6.50	146.19
Septiembre	59.02 ± 6.30	139.85
Octubre	8.41 ± 0.29	4.92
Noviembre	4.96 ± 0.11	2.6
Diciembre	4.81 ± 0.14	2.35
Enero 07	3.57 ± 0.09	2.13

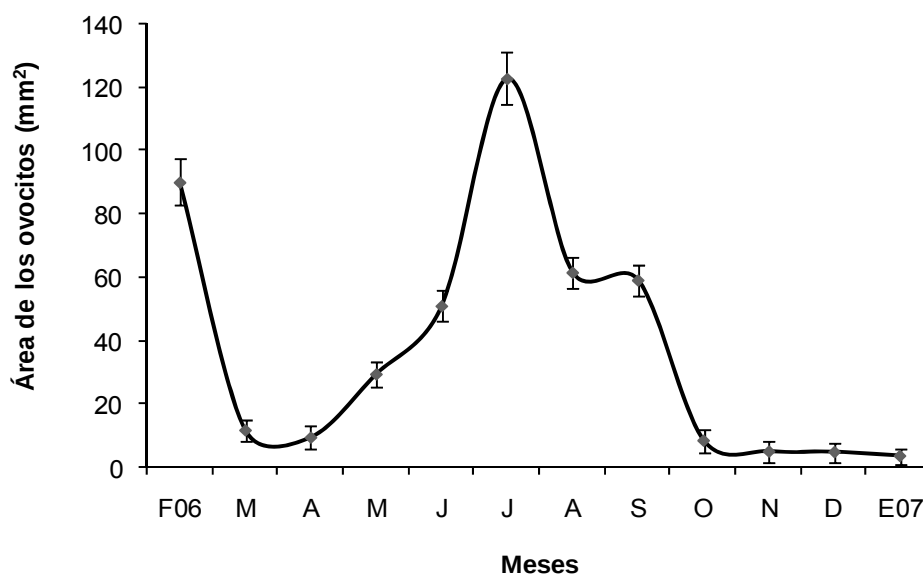


Figura 30. Valor mensual promedio del área de los ovocitos de *Octopus hubbsorum*. Las barras indican el error estándar.

Se encontró que los valores promedio mensuales del área de los ovocitos tuvieron una correlación significativa y directamente proporcional con la frecuencia de hembras en fase de madurez y madurez máxima ($r_s=0.88$, $P<0.05$) (Fig. 31).

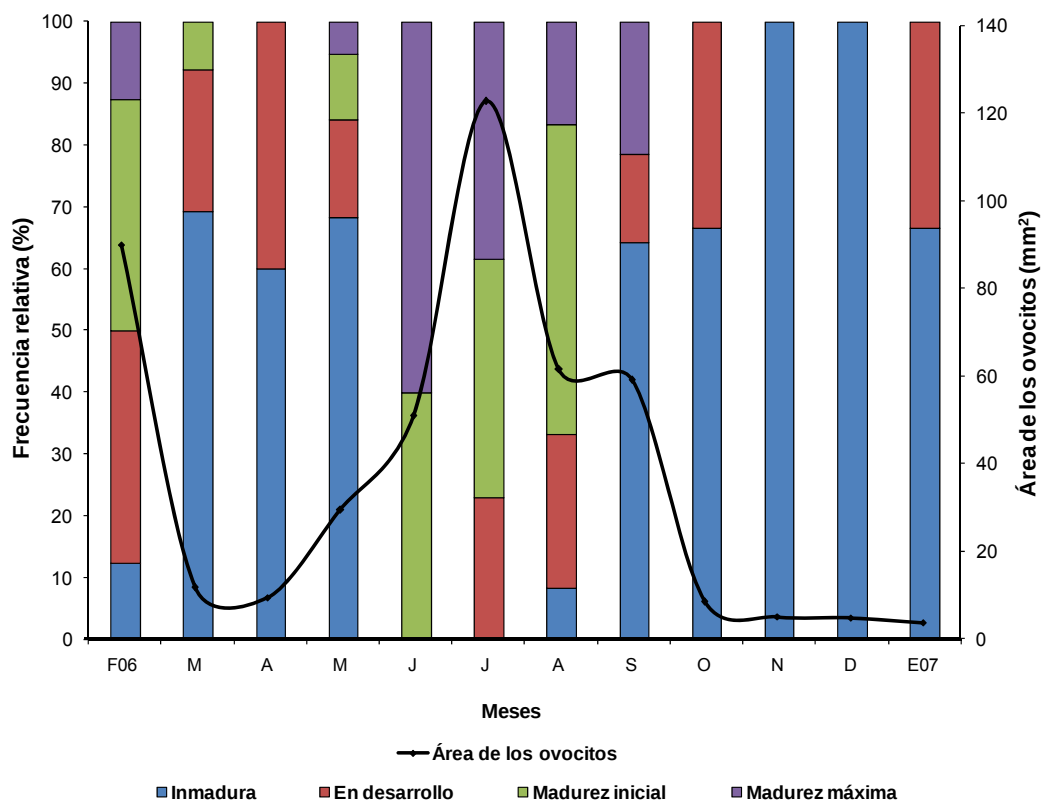


Figura 31. Valores mensuales promedio del área de los ovocitos y frecuencia de las fases de desarrollo gonadal de las hembras de *Octopus hubbsorum*.

6.7 Índices morfofisiológicos

6.7.1 Índice gonádico

La prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas en los valores del índice gonádico entre hembras y machos (Kruskal-Wallis: $H(1, 281)=175.65$, $P=0.000$).

Para las hembras la prueba mostró diferencias significativas en los valores del índice (Kruskal-Wallis; $H(11,119)=30.20$, $P=0.001$), la prueba de Tukey señaló que la diferencia se encontraba en julio (Fig. 32).

En hembras se presentaron dos picos en los valores del índice gonádico, uno en febrero (908.76 ± 481.25) y otro en julio (1446.02 ± 603.52), el cual fue el de mayor intensidad. Los valores altos del índice encontrados en febrero fueron seguidos por una fuerte disminución en marzo, posteriormente se observó un aumento sostenido a partir de mayo, para alcanzar el valor máximo en julio. Se observó una disminución a partir de agosto, para alcanzar el valor mínimo del índice gonádico en noviembre (23.41 ± 4.66) (Tabla 4, Fig. 32).

En machos de igual manera la prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas en los valores del índice gonádico (Kruskal-Wallis: $H(11,162)=69.717$, $P=0.000$), mientras que la prueba de Tukey señaló que esta diferencia se presentó en junio.

Los valores del índice presentaron fluctuaciones menores que los de las hembras. El valor mínimo se encontró en enero (232.28 ± 43.81), se observó un ligero aumento en febrero, mientras que en los meses posteriores los valores continuaron más o menos constantes hasta mayo, cuando este valor aumentó significativamente hasta alcanzar el valor máximo en junio (1118.14 ± 273.0). Disminuyó nuevamente y presentó un valor bajo en septiembre para permanecer mas o menos constante en los siguientes meses (Tabla 4, Fig. 33).

Al igual que en las hembras, el análisis de variancia indicó diferencias significativas entre los valores mensuales del índice gonádico. La prueba de Tukey señaló que esta diferencia se presentó en junio (Fig. 33).

Tabla 4. Valor promedio mensual y desviación estándar del índice gonádico de hembras y machos de *Octopus hubbsorum*.

Mes	Hembras			Machos		
	Media	DE	N	Media	DE	N
F06	908.76 ± 481.25	1361.17	8	576.30 ± 64.48	257.92	16
M	77.22 ± 27.98	100.9	13	452.62 ± 60.81	235.53	15
A	80.58 ± 11.66	45.16	15	554.74 ± 81.50	270.31	11
M	124.32 ± 36.80	160.39	19	461.87 ± 67.00	276.25	17
J	478.36 ± 142.82	319.35	5	1118.14 ± 273.00	1021.48	14
J	1446.02 ± 630.52	2359.19	14	590.85 ± 39.79	154.1	15
A	405.35 ± 142.39	493.27	12	584.76 ± 20.75	82.98	16
S	147.96 ± 62.76	234.82	14	260.01 ± 41.28	175.14	18
O	199.23 ± 130.79	226.54	3	345.65 ± 85.00	224.9	7
N	23.41 ± 4.66	13.19	8	255.12 ± 48.74	194.96	16
D	35.37 ± 7.86	11.11	2	252.00 ± 36.60	121.38	11
E07	42.38 ± 15.48	37.93	6	232.28 ± 43.81	107.3	6

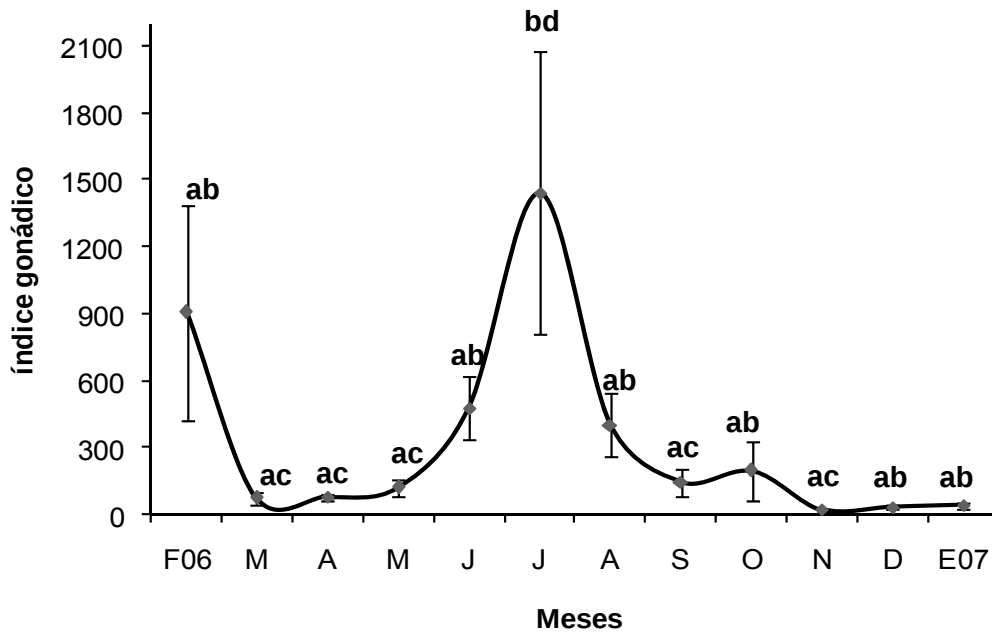


Figura 32. Variación del índice gonádico de las hembras de *Octopus hubbsorum*. Medias que no comparten la misma letra son significativamente diferentes ($P < 0.05$). Las barras indican el error estándar.

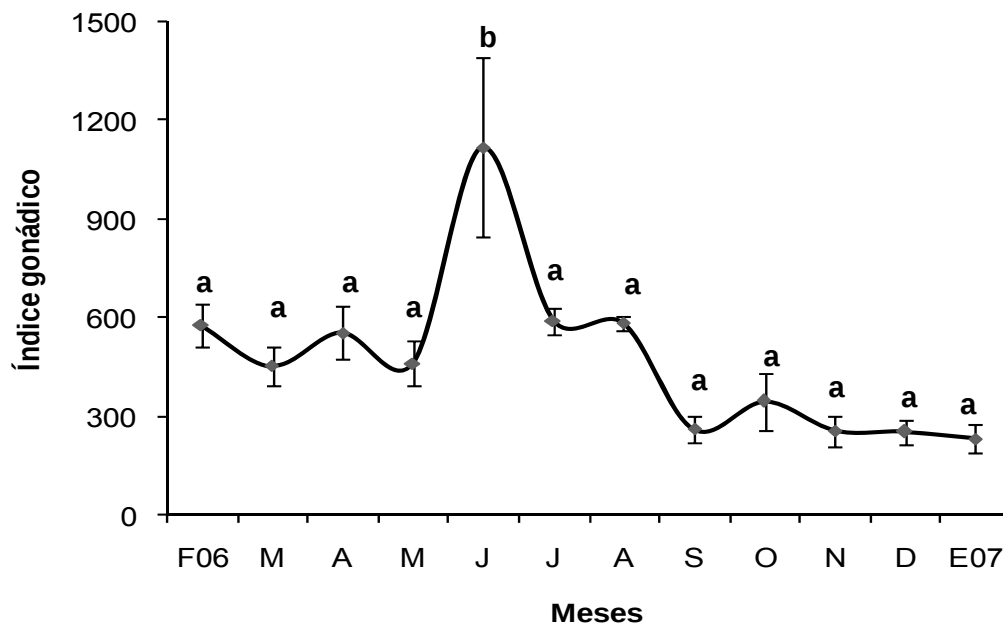


Figura 33. Variación del índice gonádico de los machos de *Octopus hubbsorum*. Medias que no comparten la misma letra son significativamente diferentes ($P < 0.05$). Las barras indican el error estándar.

6.7.2 Índice de la glándula digestiva

En las hembras la prueba de Kruskal-Wallis indicó diferencias significativas entre los valores mensuales del índice de la glándula digestiva (Kruskal-Wallis: $H(11,116)=42.37$, $P=0.000$). El índice mostró valores altos durante febrero ($5.68\pm1.79\%$), sin embargo este presentó una disminución continua a partir de marzo hasta julio. A partir de agosto permaneció sin cambios notables, en octubre disminuyó y alcanzó el valor mínimo ($2.87\pm0.48\%$) para aumentar nuevamente en los siguientes meses (Tabla 5, Fig. 34).

Al igual que en las hembras, en los machos la prueba indicó diferencias significativas entre los valores mensuales del índice de la glándula digestiva (Kruskal-Wallis: $H(11,162)=83.69545$, $P=0.000$). Presentó valores altos en enero ($5.37\pm0.65\%$), disminuyó considerablemente en febrero y de marzo a mayo tuvo una tendencia ascendente. En junio disminuyó para alcanzar el valor mínimo en agosto ($2.20\pm0.17\%$). Tuvo un aumento nuevamente a partir de octubre (Tabla 4, Fig. 35).

Tabla 5. Valor promedio mensual y desviación estándar del índice de la glándula digestiva de hembras y machos de *Octopus hubbsorum*.

Mes	Hembras			Machos		
	Media	DE	N	Media	DE	N
F06	5.68 ± 1.79	4.4	16	3.17 ± 0.23	0.91	16
M	5.13 ± 0.22	0.79	15	4.06 ± 0.19	0.74	15
A	4.58 ± 0.23	0.88	11	4.10 ± 0.38	1.27	11
M	4.16 ± 0.20	0.88	17	4.31 ± 0.35	1.43	17
J	3.49 ± 0.87	1.94	14	2.55 ± 0.34	1.28	14
J	3.21 ± 0.38	1.38	15	2.38 ± 0.17	0.67	15
A	3.32 ± 0.19	0.66	16	2.20 ± 0.17	0.67	16
S	3.52 ± 0.15	0.56	18	2.43 ± 0.10	0.44	18
O	2.87 ± 0.48	0.83	7	2.67 ± 0.15	0.39	7
N	3.28 ± 0.19	0.55	16	3.18 ± 0.18	0.73	16
D	3.99 ± 0.62	0.88	11	3.46 ± 0.16	0.52	11
E07	5.12 ± 0.69	1.69	6	5.37 ± 0.65	1.59	6

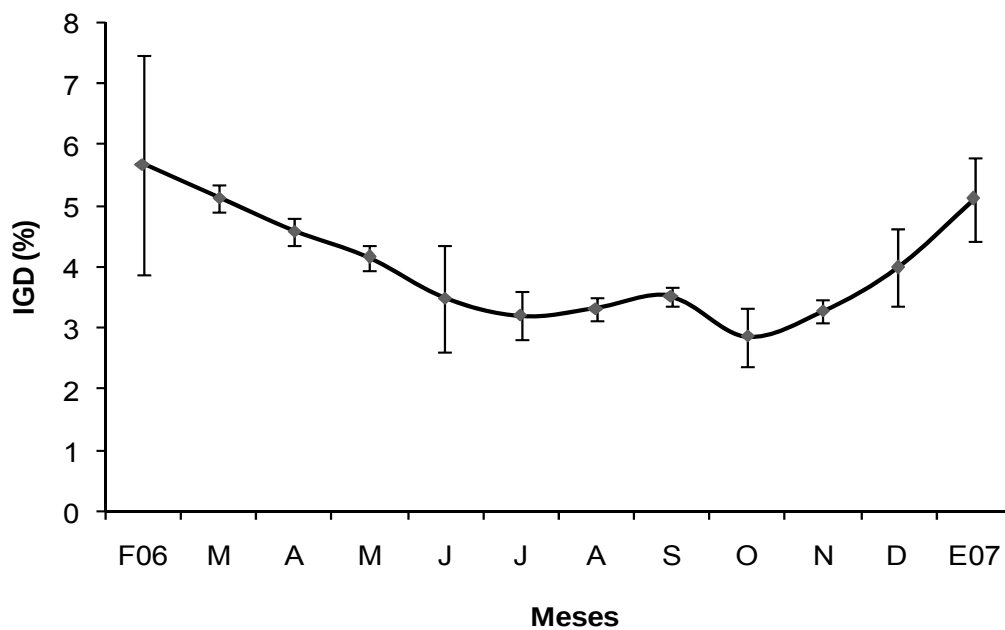


Figura 34. Variación del índice de la glándula digestiva (IGD) en hembras de *Octopus hubbsorum*. Las barras indican el error estándar.

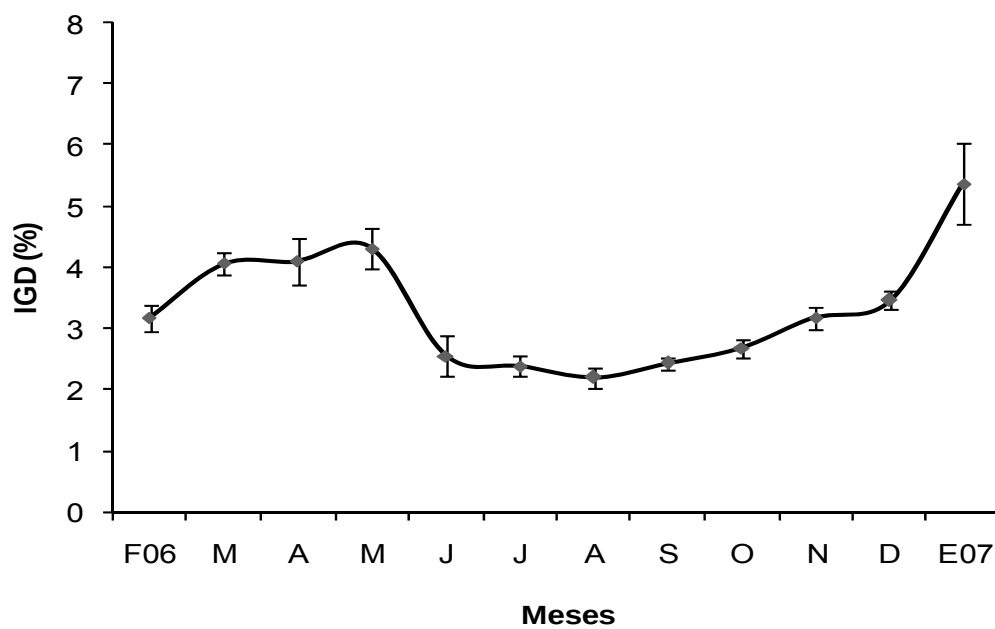


Figura 35. Variación del índice de la glándula digestiva (IGD) en machos de *Octopus hubbsorum*. Las barras indican el error estándar.

Se encontró una correlación significativa e inversamente proporcional entre los valores promedio del índice gonádico y de la glándula digestiva a través del año para hembras ($r_s=-0.21$, $P<0.05$) y machos ($r_s=-0.53$, $P<0.05$) (Fig. 35a y 35b).

En las hembras estos índices siguieron una tendencia inversa durante casi todo el ciclo, se observó que de abril a junio los valores del índice gonádico tienden a aumentar, mientras que los valores del índice de la glándula digestiva presentaron una disminución continua. En julio se alcanzó el valor máximo del índice gonádico, y uno de los valores más bajos del índice de la glándula digestiva. Posteriormente a partir del mes de agosto se observó que la tendencia se invierte, el índice gonádico empieza a disminuir y el índice de la glándula digestiva a aumentar. Sin embargo, esta tendencia no fue inversa en los primeros meses, ya que en enero se observan valores bajos del índice gonádico y también de la glándula digestiva, y ambos índices aumentan en febrero (Fig. 36a).

De igual manera, en los machos se observó una tendencia inversa en los índices, aunque ésta fue evidente en todos los meses. El valor más bajo del índice gonádico se presentó en enero, coincidiendo con el punto en que se encontró el valor más alto del índice de la glándula digestiva. Posteriormente, de febrero a mayo se observaron pequeñas fluctuaciones en los dos índices, siguiendo la tendencia inversa. El valor más alto del índice gonádico se observó en junio, coincidiendo con uno de los valores más bajos del índice de la glándula digestiva. De junio a diciembre se presentan pequeñas fluctuaciones en ambos índices, siguiendo una tendencia inversa (Fig. 36b).

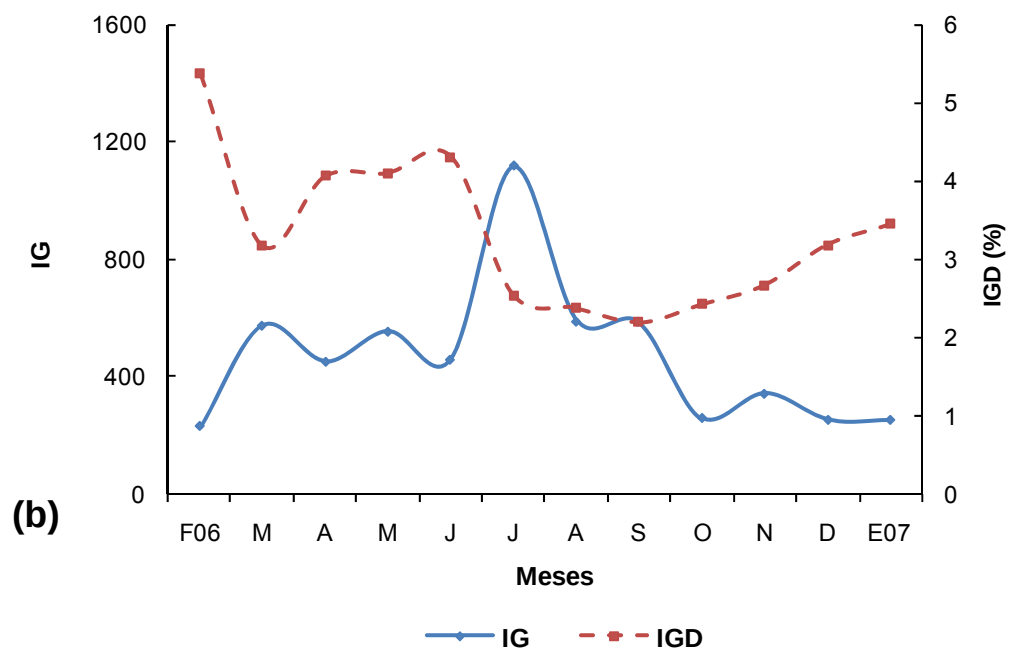
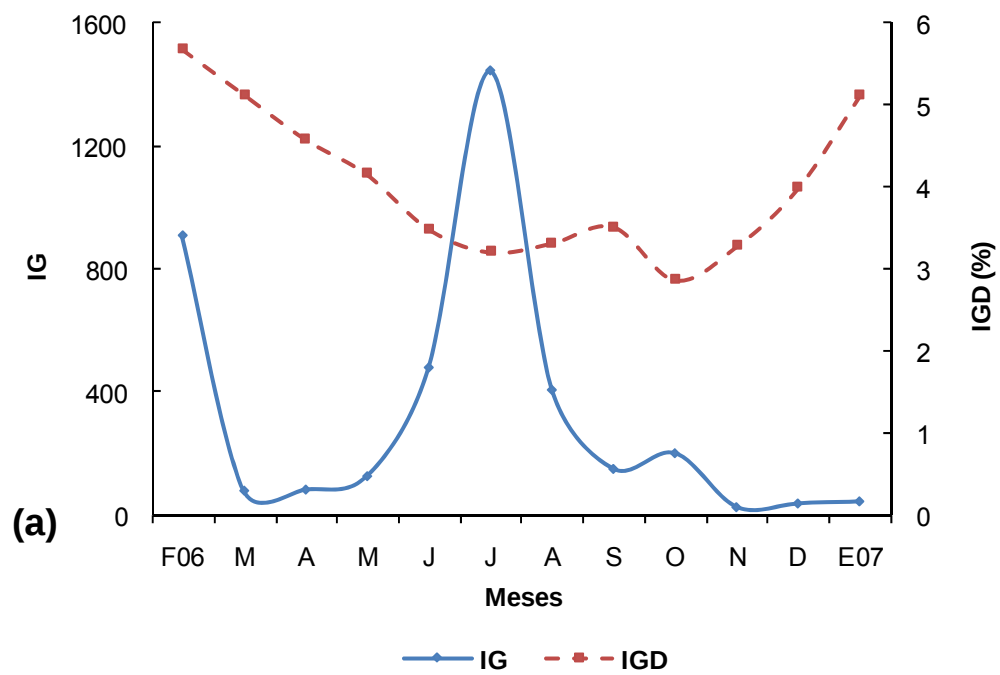


Figura 36. Relación del índice gonádico (IG) y de la glándula digestiva (IGD) en *Octopus hubbsorum*. a) Hembras, b) Machos.

6.7.3 Factor de condición

El factor de condición indica el grado de “salud” de los organismos, de tal manera que el punto más alto representa la mejor condición. En las hembras este punto se presentó al inicio de la actividad reproductiva (junio) y disminuyó conforme se redujo ésta actividad (julio a septiembre).

Las hembras presentaron fluctuaciones en los valores del factor de condición a través de los meses, la prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas en los valores promedio mensuales (Kruskal-Wallis: $H(11, 119)=59.65739$ $P=0.000$). De enero a mayo se observó que el factor de condición aumenta y disminuye mes a mes. En junio alcanzó el valor máximo (73.79 ± 13.83), no obstante, a partir de julio este disminuyó en forma sostenida hasta alcanzar el valor mínimo en septiembre (21.84 ± 1.72). Posteriormente, entre octubre y diciembre se observaron nuevamente fluctuaciones mes a mes (Tabla 5, Fig. 36).

En los machos se observó que el factor de condición sigue la misma tendencia que en las hembras, de igual manera la prueba de Kruskal-Wallis mostró que había diferencias significativas entre los valores mensuales (Kruskal-Wallis: $H(11, 162)=72.88252$ $P=0.000$). Se observaron fluctuaciones entre enero y junio, teniendo su valor máximo en abril (64.82 ± 10.85) (antes de iniciar la actividad reproductiva), a partir de julio empezó a disminuir continuamente hasta alcanzar el valor mínimo en septiembre (25.16 ± 2.11), lo cual coincide con la reducción de la actividad reproductiva. Permanece mas o menos constante en noviembre y diciembre (Tabla 5, Fig. 37).

Tabla 6. Valor promedio mensual y desviación estándar del factor de condición de hembras y machos de *Octopus hubbsorum*.

Mes	Hembras			Machos		
	Media	DE	N	Media	DE	N
F06	51.41 ± 7.51	21.25	8	51.23 ± 4.75	18.99	16
M	38.64 ± 3.34	12.05	13	40.42 ± 3.34	12.92	15
A	49.66 ± 5.66	21.93	15	64.82 ± 10.85	35.98	11
M	42.40 ± 3.46	15.08	19	46.36 ± 4.30	17.74	17
J	73.79 ± 13.83	30.92	5	59.34 ± 1.96	7.32	14
J	55.69 ± 3.14	11.75	14	51.16 ± 2.83	10.96	15
A	35.53 ± 2.44	8.44	12	37.10 ± 1.14	4.56	16
S	21.84 ± 1.72	6.45	14	25.16 ± 2.11	4.56	18
O	46.43 ± 5.64	9.77	3	44.70 ± 5.86	15.5	7
N	24.67 ± 1.77	5	8	30.48 ± 3.38	13.53	16
D	35.41 ± 4.49	6.36	2	29.17 ± 2.57	8.51	11
E07	30.24 ± 5.31	13	6	30.35 ± 4.25	10.42	6

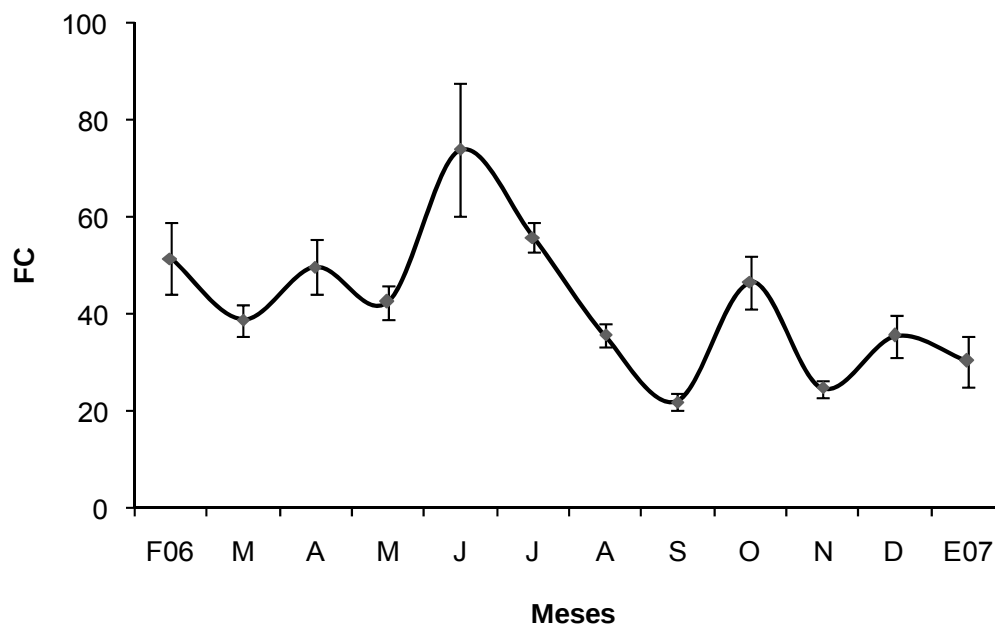


Figura 37. Variación del factor de condición (FC) de las hembras de *Octopus hubbsorum*. Las barras indican el error estándar.

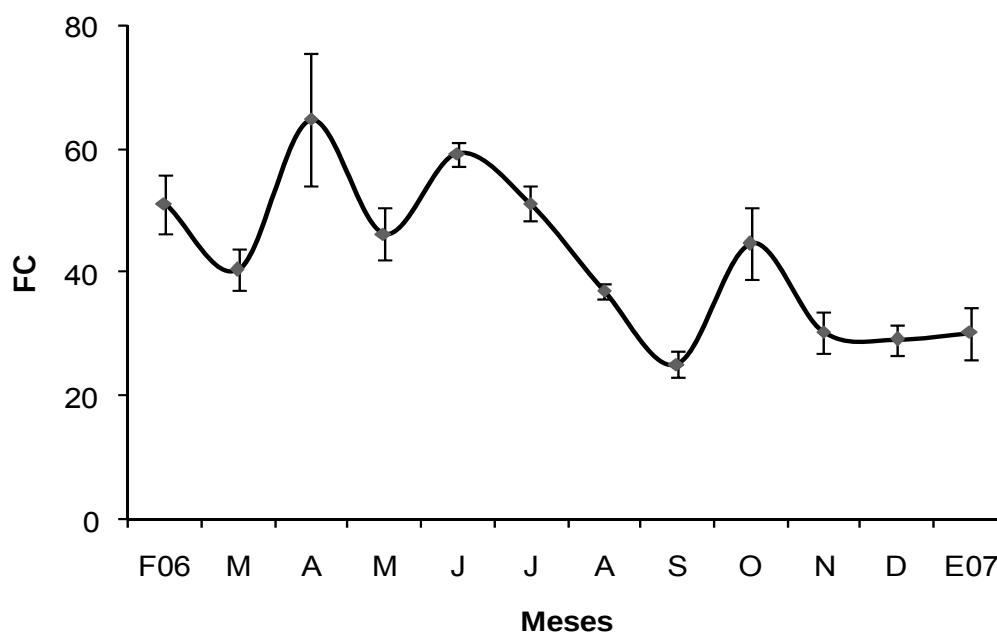


Figura 38. Variación del factor de condición (FC) de los machos de *Octopus hubbsorum*. Las barras indican el error estándar.

6.8 Temperatura y su relación con el ciclo reproductivo de *O. hubbsorum*

La temperatura presentó una variación de 9.8 °C durante todo el ciclo de muestreo. El promedio más bajo se presentó en febrero con 19.4 °C, en los meses siguientes se observó un aumento sostenido de la temperatura del mar hasta alcanzar el máximo registro en octubre con 29.2 °C (Fig. 30).

El análisis de correlación de rangos de Spearman mostró que la temperatura presenta una correlación significativa y positiva con el porcentaje de hembras maduras ($r_s=0.27$, $P<0.05$), es decir, al aumentar la temperatura aumenta el porcentaje de hembras en fase de madurez. La temporada de máxima reproducción se presentó en los meses cálidos a los 26 °C (Fig. 39).

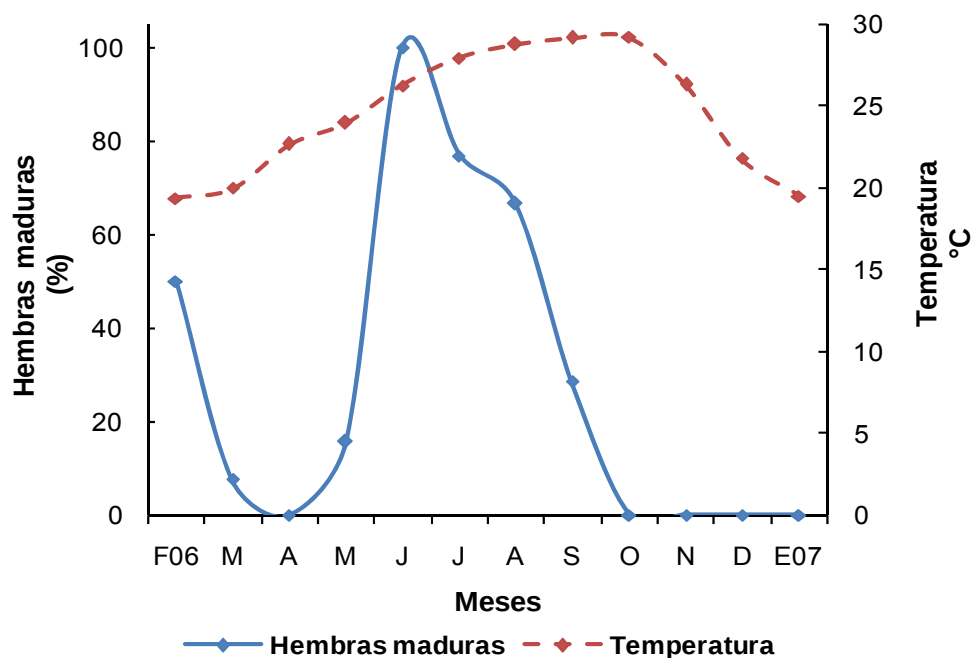


Figura 39. Variación de la temperatura del mar durante el periodo de muestreo y porcentaje de hembras de *Octopus hubbsorum* en fase de madurez.

6.9 Talla de madurez

Se estimó la talla de madurez para las hembras que se encontraban en las fases III y IV (madurez inicial y madurez máxima) de desarrollo gonadal ($n = 34$). La hembra madura más pequeña tenía una talla de 39.4 cm de longitud total y peso total de 140 g, sin embargo, todas las hembras que se encontraban en fase de desarrollo presentaron tallas mayores a ésta. Se encontró que la gametogénesis inicia a una talla de 43 cm de longitud total. La hembra madura de mayor talla tuvo 79 cm de longitud total y 1347 g de peso total.

Al realizar el ajuste al modelo logístico se obtuvo la talla de madurez a los 59.6 cm de longitud total (Fig. 40), 12.4 de longitud del manto (Fig. 41) y 615 g de peso total.

En machos la talla de madurez se estimó para los organismos que se encontraban en fase de madurez y eyaculados ($n=62$). El macho maduro más pequeño tenía una longitud total de 25.8 cm y el mayor una longitud total de 75.5 cm. Se encontró que la gametogénesis inicia a una longitud total de 26.0 cm.

El ajuste de los datos al modelo logístico mostró que la talla de madurez de los machos se alcanza a los 49.7 cm de longitud total (Fig. 42), 10.5 cm de longitud del manto (Fig. 43) y 405 g de peso total.

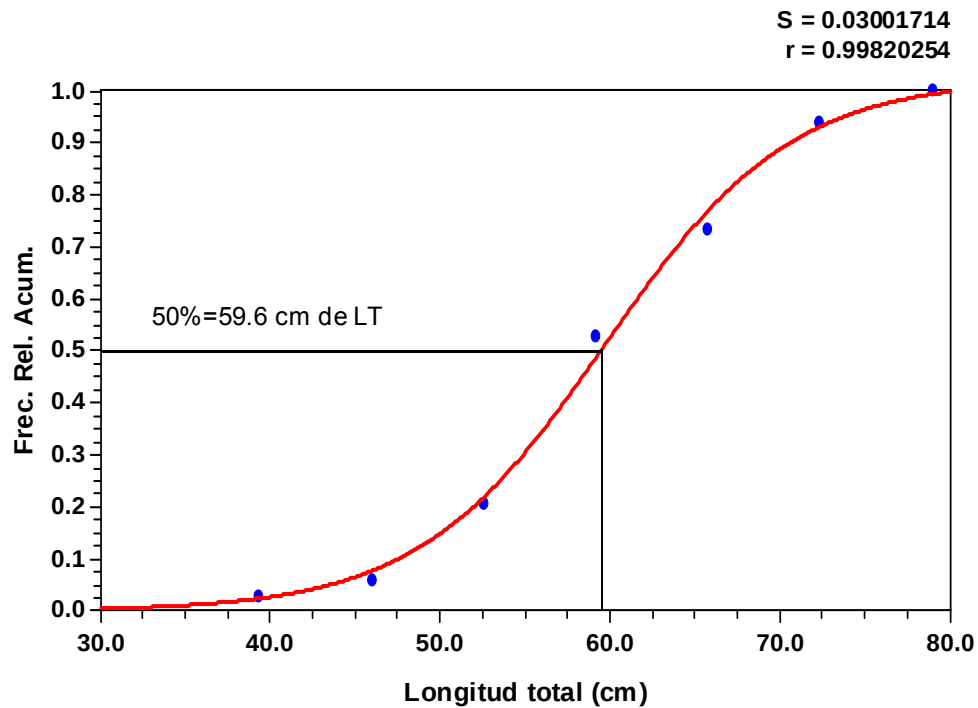


Figura 40. Talla de madurez en longitud total (LT) en hembras de *Octopus hubbsorum*.

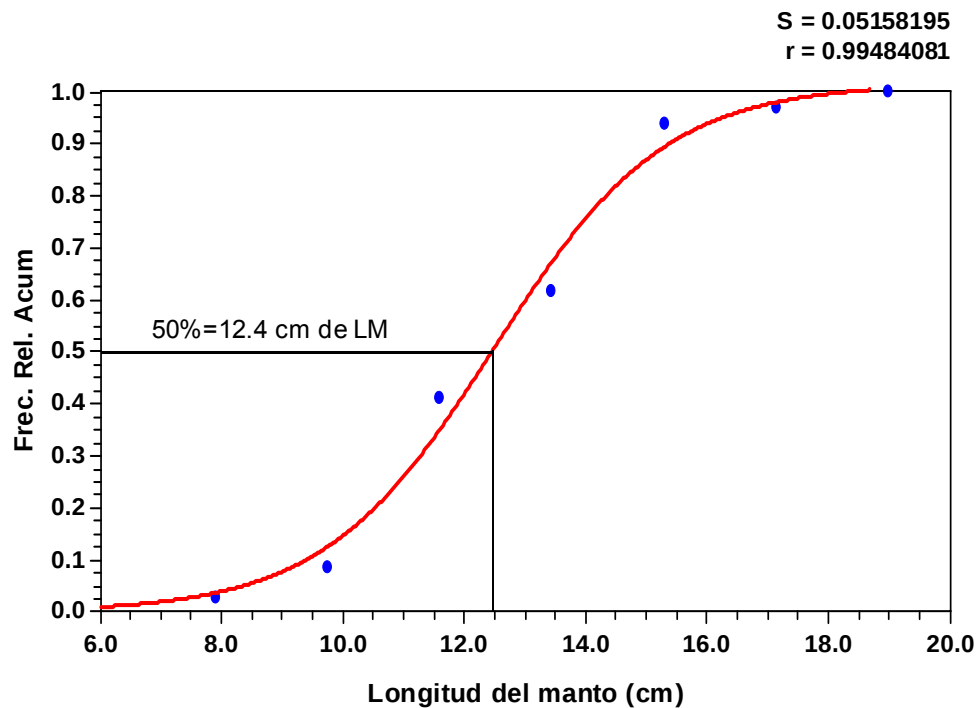


Figura 41. Talla de madurez en longitud del manto (LM) en hembras de *Octopus hubbsorum*.

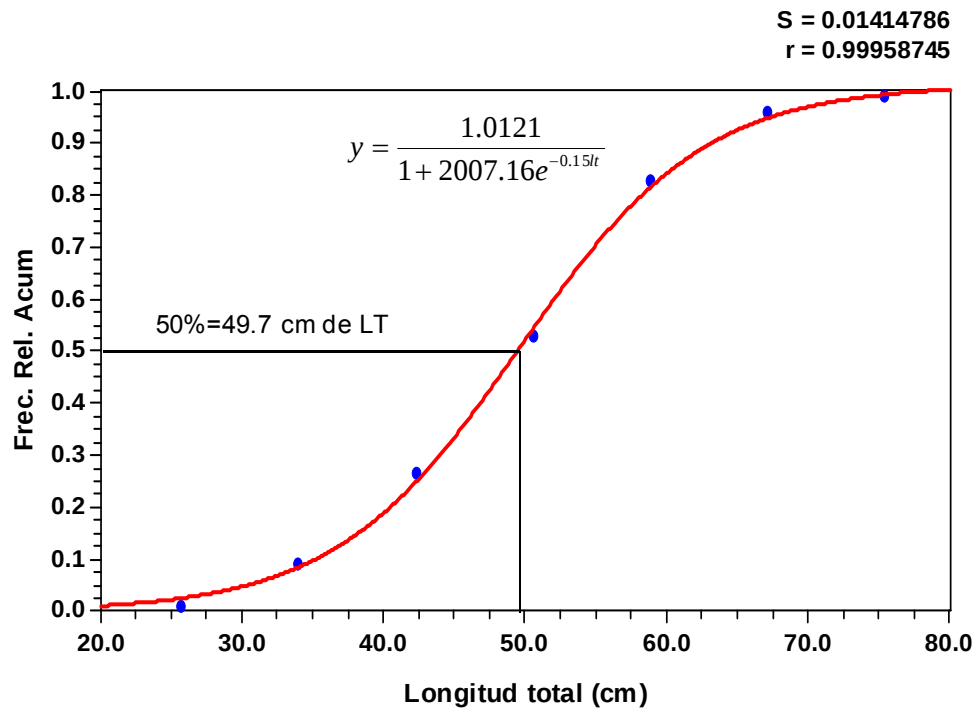


Figura 42. Talla de madurez en longitud total (LT) de machos de *Octopus hubbsorum*.

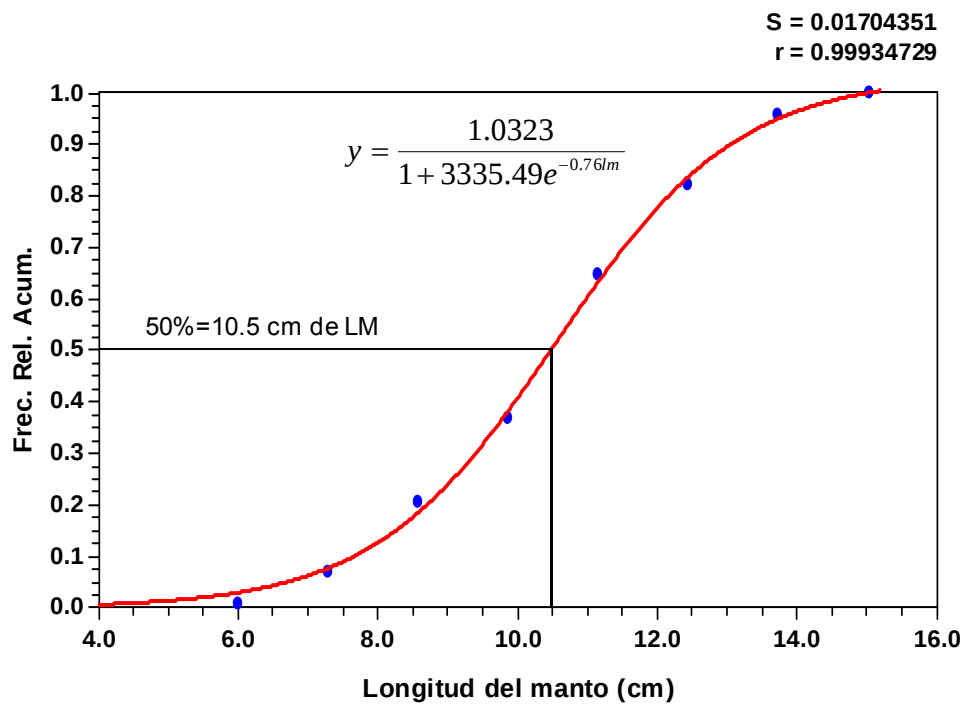


Figura 43. Talla de madurez en longitud del manto (LM) de machos de *Octopus hubbsorum*.

VII. DISCUSIÓN

7.1 Estructura de tallas

En el Parque Nacional Bahía de Loreto, se encontró que las hembras de *Octopus hubbsorum* alcanzan tallas mayores que los machos, resultado similar al reportado por Aguilar (1995), Raymundo-Huizar (1995) y López-Uriarte (2006) para la talla general de esta misma especie en las costas de Jalisco. De igual manera en especies como *O. vulgaris* se ha reportado que las hembras alcanzan tallas mayores que los machos (Hernández-García *et al.* 2002; Carvalho & Sousa-Reis, 2003 y Fernández-Rueda y García-Flores, 2007), aunque en Bahía de Loreto no fueron estadísticamente diferentes, estas diferencias fueron más evidentes en febrero y junio, coincidiendo con los meses en que se presentó la mayor actividad reproductiva. El hecho de encontrar hembras de mayor tamaño y que esto coincida con los meses de actividad reproductiva, podría deberse a que en estas temporadas la hembras requieren incrementar la condición de su organismo, y almacenar sustratos energéticos que le permitan asegurar el éxito reproductivo y utilizar esta energía durante el proceso de desove y en el periodo de inanición que tienen al realizar el cuidado de la puesta.

7.2 Proporción sexual

Generalmente se asume que la proporción sexual de los organismos en las poblaciones es 1:1, aunque normalmente este no es el caso de los organismos capturados por las pesquerías y el observado en algunos reportes de campo, las diferencias en las estrategias de muestreo y el comportamiento sexual pueden ser la causa de esto, más que las diferencias en el medio natural (Wells, 1978; Carvalho & Sousa-Reis, 2003).

En *O. hubbsorum* se encontraron diferencias en la proporción de sexos total y en los meses de junio y diciembre, en ambos meses sesgadas hacia los machos, en este sentido, el predominio de machos ha sido reportado para *O. hubbsorum* (Leyva-

Villarreal *et al.*, 1987; González-Rendón *et al.*, 1990; López-Uriarte, 2006) y para otras especies de pulpos como *O. mimus* (Cortez *et al.*, 1998; Ishiyama *et al.*, 1999) y *O. vulgaris* (Guerra, 1975; Hernández-García *et al.*, 2002; Cardoso *et al.*, 2004; Idrissi *et al.*, 2006; Otero *et al.*, 2007).

La variación en la proporción sexual puede estar influenciada por una combinación de diferentes factores tales como el comportamiento migratorio asociado con la maduración sexual y el proceso de desove, ya que los machos al final de la temporada reproductiva vagan en busca de hembras a las que puedan transferir sus espermatozoides, por lo que este comportamiento más activo que el de las hembras, aumentaría la proporción de machos en las capturas (Mangold-Wirtz, 1963; Hernández-García *et al.*, 2002).

Otro aspecto a considerar es el comportamiento alimenticio relacionado con la reproducción, ya que las hembras permanecen cuidando la puesta dentro de refugios, limpiándola y oxigenándola y raramente abandonan los huevos, usualmente no se alimentan durante este periodo y mueren inmediatamente después del periodo de cuidado de los huevos, originando lo que se conoce como ciclo reproductivo terminal (Rocha *et al.*, 2001).

En *O. hubbsorum*, se encontró una proporción sexual cercana a 1:1 durante julio a septiembre, coincidiendo con los meses de mayor actividad reproductiva, probablemente en estos meses hembras y machos realizan una migración hacia aguas someras para llevar a cabo la cópula. La diferencia encontrada en la proporción sexual durante junio y diciembre, sesgada hacia los machos, se presenta cuatro meses después de las temporadas reproductivas, cuando las hembras se encuentran en los refugios ocultas a la pesquería y se eleva la mortalidad natural debido a la inanición durante el cuidado de los huevos.

Raymundo-Huizar (1995) y Aguilar (1995) encontraron que en general la proporción sexual en *O. hubbsorum* estaba sesgada hacia las hembras, difiriendo con los

resultados aquí encontrados; estos estudios fueron realizados únicamente durante la temporada de pesca, entre los meses de mayo a octubre, es conveniente hacer notar que estos resultados coinciden con la temporada reproductiva de la especie y como ya se discutió, las hembras se acercan a aguas someras para realizar la reproducción y son más susceptibles a la captura.

7.3 Desarrollo gonadal

Los cambios macroscópicos más evidentes en la gónada de *O. hubbsorum* se dan en el tamaño y la coloración de sus diferentes regiones, tal como ha sido reportado para otras especies de pulpo como *O. vulgaris* (Guerra, 1975; Dia & Goutschine, 1990) y *O. mimus* (Ishiyama *et al.*, 1999).

Comparado con el sistema reproductivo de los machos de *Octopus*, el de las hembras es sencillo (Wells & Wells, 1977). En las hembras de *O. hubbsorum* se observó que en las primeras etapas de desarrollo de la gónada tanto el ovario como las glándulas oviductales tenían una apariencia transparente probablemente como consecuencia del pequeño tamaño de las células reproductivas que se encuentran en el ovario, así como de la inactividad de las glándulas oviductales en estas etapas de desarrollo. El análisis histológico mostró un aumento del tamaño de los ovocitos en las siguientes fases de desarrollo gonadal, lo que condujo al aumento de tamaño del ovario, el cual alcanzó su mayor tamaño en la fase de madurez máxima. Como se comprobó con las medidas del área de los ovocitos, estos crecen más de diez veces con respecto a la fase de madurez inicial. En este sentido, Wells y Wells (1977) reportan que en *O. vulgaris* al inicio de la madurez el ovario incrementa su tamaño considerablemente, de una proporción de 1/500 del total del peso corporal en la etapa de inmadurez, a una proporción de 1/10 el total del peso corporal. El aumento en el tamaño de la gónada provoca que se comprima y desplace el resto de los órganos (Guerra, 1975; Wells & Wells, 1977). Asimismo en *O. hubbsorum*, conforme avanza el desarrollo gonadal, las glándulas oviductales aumentan de

tamaño y presentan un cambio de coloración. Respecto a las glándulas oviductales, se ha encontrado que en los octópodos éstas están conformadas por una espermateca y dos porciones glandulares, una de las cuales secreta un material proteico que se adhiere al corion conforme los huevos pasan, y probablemente forma el pegamento mediante el cual los huevos quedan adheridos al sustrato donde los colocan la hembras (Wells & Wells, 1977). Los huevos que han sido fertilizados tienen paredes delgadas pero duras y resistentes y en general el aspecto es más oscuro que el de los ovocitos que aún quedan en el ovario (Wells, 1960), por lo que el color oscuro que se observa en las glándulas oviductales de *O. hubbsorum*, seguramente se debe a la acumulación de huevos que han sido fertilizados y permanecen en ese sitio en espera de ser desovados.

El análisis histológico mostró que las hembras que se encontraban en las primeras fases de desarrollo se caracterizaron por la presencia de ovocitos rodeados por una capa sencilla y posteriormente doble de células foliculares, al interior del ovocito se observaron vacuolas vitelinas que empiezan a formarse en la periferia del ovocito, un núcleo grande vesicular donde se aprecia un solo nucleolo central. Al igual que en las observaciones histológicas de *O. mimus* (Cardoso *et al.*, 1994; Cortez *et al.*, 1998; Ishiyama *et al.*, 1999; Olivares *et al.*, 2001) y *O. vulgaris* (Hernández-López, 2000; Idrissi *et al.*, 2006; Khallahi, 2001; Rodríguez-Rúa *et al.*, 2005), el núcleo es menos aparente conforme avanzan las fases de desarrollo gonadal, conforme avanza el desarrollo de los ovocitos las células foliculares forman invaginaciones, características que ayudan a definir la etapa de madurez inicial. El análisis histológico del ovario muestra que al alcanzar la madurez máxima se pierden las invaginaciones formadas por las células foliculares, probablemente debido a la acumulación de vitelo. Se ha descrito que las células foliculares están involucradas en la síntesis de vitelo regulada por el control de la gonadotropina por parte de la glándula óptica (O'Dor & Wells, 1973), también se ha descrito que la multiplicación de las células foliculares cesa durante la etapa de madurez y en este momento se empieza a producir el vitelo. Olivares *et al.* (2001) menciona la posibilidad de que la gonadotropina corresponda a dos moléculas que son sintetizadas y secretadas

desfasadamente durante la maduración, una de ellas tiene propiedades para la multiplicación celular y la otra para la síntesis de vitelo.

En los machos de *O. hubbsorum*, se observó un aumento de tamaño de la gónada, sin embargo este no fue de las mismas dimensiones que en las hembras y los patrones de coloración son los mismos. Se observó que en las primeras etapas de desarrollo gonadal el saco espermatofórico es traslúcido, debido a que los individuos no han producido espermatozoides que puedan ser dirigidos a este sitio e iniciar su empaquetamiento. Mientras que en las hembras se observa que el aumento de tamaño del ovario y las glándulas oviductales es aparentemente proporcional, en los machos se observó variabilidad entre el tamaño del testículo y el saco espermatofórico. El análisis histológico de los testículos muestra abundantes espermatoцитos y aunque se observan espermátidas y espermatozoides, estos no se acumulan en grandes cantidades en los túbulos, conforme se van produciendo estos pasan hacia el saco espermatofórico donde los cortes histológicos muestran gran cantidad de espermatozoides en los espermatóforos. En este sentido Wells y Wells (1977), mencionan que los espermatozoides de *O. vulgaris* pasan a través de un poro pequeño y altamente ciliado en la vaina de testículo hacia el vaso deferente proximal, donde se van concentrando, alineando y compactando, y van formando una “cuerda” de espermatozoides.

Las hembras maduras se encontraron de mayo a septiembre y los machos maduros se encontraron presentes todo el año, por lo que la época de apareamiento precede al periodo de madurez de las hembras, tal como ha sido reportado para las especies *O. vulgaris* (Hatanaka, 1979, Hernández-López, 2000; Carvalho & Souza, 2003; Rodríguez-Rúa *et al.*, 2003; Rodríguez-Rúa *et al.*, 2005; Idrissi *et al.*, 2006) y *O. mimus* (Cortez *et al.*, 1998). El hecho de encontrar machos maduros en la mayor parte del ciclo, incluso en meses en que se encuentran hembras en fase de inmadurez o desarrollo puede indicar que las hembras de *O. hubbsorum*, al igual que otros octópodos tienen la capacidad de almacenar espermatozoides en su interior durante un periodo prolongado de tiempo, cuando todavía no han alcanzado la

madurez sexual, cuando esta ocurre, los ovocitos son fecundados por los gametos almacenados previamente (Perez & Haimovici, 1991; Rodríguez-Rúa *et al.*, 2003; Rodríguez-Rúa *et al.*, 2005). Esta característica permite a los machos aumentar su éxito reproductivo, ya que esto les proporciona la posibilidad de aparearse con distintas hembras.

7.4 Ciclo reproductivo

Los resultados obtenidos a través del análisis histológico muestran que en las hembras la reproducción presentó dos picos, uno máximo en junio y otro en febrero. La existencia de dos picos de reproducción, uno de ellos de mayor intensidad ha sido reportado para *O. hubbsorum* en otras áreas de estudio (Aguilar, 1995), así como para otras especies de pulpo (Silva *et al.*, 2002; Idrissi *et al.*, 2006; Otero *et al.* 2007).

Los dos picos de madurez aquí encontrados sugieren la presencia de dos cohortes por año, producto de dos desoves bien separados en el tiempo y de diferente intensidad, resultado similar al encontrado por Hatanaka (1979) y Hernández-García *et al.* (2002) en *O. vulgaris*. Contrario a lo anterior Otero *et al.* (2007), encontraron que en *O. vulgaris* de las costas de Galicia, solo se presentó un pico de madurez, y esto se explica por la presencia de surgencias costeras fuertemente estacionales presentes en el área, mientras que en áreas donde se encontraron dos picos de madurez las surgencias se presentan a través del año. La intensidad de los picos de madurez dependerá de las características biológicas de cada cohorte y de las condiciones ambientales (Hernández-García *et al.* 2002), las altas temperaturas del mar pueden jugar un papel importante favoreciendo ciclos de vida cortos y la aparición de diferentes cohortes anuales implicando varios periodos de desove (Otero *et al.*, 2007).

Entre los factores que controlan el ciclo de vida de las especies se encuentran la temperatura, el fotoperiodo y la disponibilidad de alimento, por lo que las diferencias

en estos factores entre las áreas inducirá cambios en las temporadas de reproducción de las especies (Mangold, 1987). De acuerdo con esto se encontró que en *O. hubbsorum* en Bahía de Loreto la temporada de máxima reproducción está relacionada con el aumento en la temperatura, coincidiendo con lo reportado para esta especie en otras áreas de estudio (Leyva-Villareal *et al.*, 1987; González-Rendón *et al.*, 1990; Aguilar, 1995; Raymundo-Huizar, 1995; López-Uriarte, 2006). Esto puede explicarse por el hecho de que la tasa de procesos metabólicos se acelera con el incremento de la temperatura (Carvalho & Sousa-Reis, 2003). El segundo pico de madurez podría estar relacionado con la reducción en el fotoperiodo durante los meses de invierno, un resultado similar es informado para *O. hubbsorum* en la costa de Jalisco donde el periodo de madurez ocurre de febrero a junio y estuvo relacionado con la reducción del fotoperiodo, así mismo se ha encontrado esta relación en *O. vulgaris* y *O. mimus*. Aunque este análisis no se realizó para *O. hubbsorum* debe abordarse en estudios futuros.

Se observó aumento en la temperatura en los meses posteriores a los picos de reproducción, es decir en la temporada en que se realiza la puesta. Algunos estudios en los que se ha mantenido pulpos en cautiverio han observado que la temperatura juega un papel importante en el desarrollo embrionario de los huevos (Mangold & Boletzky, 1973; Caverivière *et al.*, 1999; Baltazar *et al.*, 2000). Mangold y Boletzky (1973) concluyeron que a temperaturas de alrededor de 20 °C las paralarvas pueden llegar a ser organismos bentónicos en un lapso de 35 a 60 días, mientras que temperaturas más bajas podrían retrasar el asentamiento. De igual manera señalaron que el crecimiento es más rápido en individuos que se mantuvieron a 20 °C y más lento a temperaturas inferiores. Esto podría ayudar a explicar el hecho de encontrar relación entre el aumento de la temperatura y la temporada de desove en *O. hubbsorum*, las altas temperaturas favorecerían que el desarrollo embrionario sea más rápido y que las paralarvas puedan integrarse en un periodo más corto de tiempo al bentos, aunque sobre este tema en *O. hubbsorum* no se cuenta con ningún antecedente.

Boletzky *et al.* (2001) y Baltazar *et al.* (2000) para los pulpos *O. macropus* y *O. mimus* respectivamente, coinciden en que el periodo en el cual la hembra realiza la puesta es de 15 días. El desarrollo embrionario dura alrededor de 25 días a temperaturas superiores a 25 °C (Mangold & Boletzky, 1973; Caverivière *et al.*, 1999; Baltazar *et al.*, 2000). Mangold y Boletzky (1973), señalaron que la fijación de las paralarvas al fondo acontece entre 30 y 40 días después de la eclosión, a una temperatura del agua de 24.7 °C. Tomando en cuenta estos antecedentes se puede inferir lo que sucedería en el ciclo de vida de *O. hubbsorum*, las hembras presentan su principal temporada reproductiva entre los meses de junio y agosto, de este acoplamiento se producen huevos que serán incubados dos semanas después, aproximadamente en julio, cuyas paralarvas al desarrollarse en temperaturas superiores a los 25 °C, completarían su desarrollo embrionario a partir de agosto y los juveniles serían encontrados a partir de septiembre. Mientras que del acoplamiento que se lleva a cabo en el mes de febrero, la puesta se realizaría en marzo, las paralarvas en esta temporada se desarrollan a una temperatura de casi 20 °C, por lo que el periodo de desarrollo embrionario sería más largo. Mangold y Boletzky (1973) reportaron que los huevos que se desarrollaron a una temperatura de 20 °C completarían su desarrollo embrionario en un periodo de 30 a 40 días. Con base en este antecedente se podría esperar que las paralarvas en esta temporada completen su desarrollo embrionario entre abril y mayo, y los juveniles se encontrarían entre mayo y junio.

Los organismos juveniles en fase de inmadurez y desarrollo, que no han sido reclutados a la población reproductiva, y cuya frecuencia aumenta en el mes de marzo, provendrían de la puesta realizada por las hembras que tuvieron su temporada reproductiva entre junio y agosto. Mientras que los encontrados en estas mismas fases en septiembre serían producto de la temporada reproductiva que se lleva a cabo en febrero.

7.5 Índices morfofisiológicos

7.5.1 Índice gonádico

El índice gonádico se calculó para tener un indicador cuantitativo de la actividad reproductiva, mientras que el análisis histológico nos permite conocer de manera cualitativa qué es lo que está sucediendo dentro de los órganos reproductivos. El análisis histológico mostró que la gametogénesis se intensifica a partir del mes de abril, sin embargo, este estado no se refleja en el comportamiento del índice gonádico hasta mayo con un aumento sostenido, mientras que las observaciones histológicas demuestran la presencia de hembras en fase de madurez. Por lo tanto hay un desfase entre el comportamiento del índice gonádico y las observaciones histológicas. Debido a que el índice gonádico es una relación entre el peso de la gónada y el del organismo y se analiza como promedio mensual, las hembras maduras estarían enmascaradas por hembras que se encuentran en fase de desarrollo, cuya gónada es más pequeña, lo que haría bajar el valor de este promedio. De igual manera sucedería para los meses posteriores en que no coincide el inicio de la temporada reproductiva entre el índice gonádico y el análisis histológico, indicando este último que esta es máxima en junio y el índice gonádico en julio, cabe señalar que en las hembras las fases de madurez se dividieron en madurez inicial y madurez máxima, la primera fase podría estar representada por hembras cuya gónada tiene menor peso que la que se encuentra en la madurez máxima.

A pesar de estas diferencias podemos concluir que el índice gonádico es un buen indicador de la actividad reproductiva de las hembras de *O. hubbsorum*. La disminución en los valores promedio del índice gonádico coincide con el aumento en la frecuencia de hembras inmaduras, la cual es del 100% en los meses de noviembre y diciembre. Los altos porcentajes de hembras en fase de madurez encontrados en estos mismos meses, provienen probablemente de los organismos reclutados en el pico secundario de madurez en febrero.

Al encontrar machos en fase de madurez durante la mayor parte del ciclo y al observar que no existen fluctuaciones tan marcadas en los valores del índice gonádico se puede concluir que este índice no sería un buen indicador de la actividad reproductiva en los machos de *O. hubbsorum*.

Otra medida para evaluar cuantitativamente la actividad reproductiva de las hembras, fue determinar el área de los ovocitos. Esta medida es un buen indicador de la actividad reproductiva, así mismo validaría el uso del índice gonádico como indicador de la actividad reproductiva de *O. hubbsorum* en Bahía de Loreto, ya que siguieron la misma tendencia y esto queda reforzado con las observaciones histológicas de las gónadas.

7.5.2 Índice de la glándula digestiva

En moluscos la glándula digestiva se considera como un órgano de reserva de nutrientes, principalmente lípidos, en los cefalópodos se ha mencionado su función como sitio de reserva de energía metabólica (Hatfield *et al.*, 1992), síntesis y secreción de enzimas digestivas, además de estar encargado de la digestión y absorción (Boucad-Camou & Boucher-Rodoni, 1983). En *O. vulgaris* (O'Dor & Wells, 1978) y *O. mimus* (Castro *et al.*, 1992; Cortez *et al.*, 1995) se ha documentado una disminución progresiva del peso de la glándula digestiva en periodos de inanición, lo que sugiere que éste órgano funciona como reservorio de energía. La correlación inversa encontrada entre el índice de la glándula digestiva y el índice gonádico en *O. hubbsorum*, puede explicarse por una probable transferencia de sustancias de reserva desde la glándula digestiva a la gónada durante el inicio de su etapa reproductiva.

Coincidiendo con los resultados aquí encontrados, López-Uriarte (2006) señala que en *O. hubbsorum* en la costa de Jalisco, el incremento de la condición de la glándula digestiva coincide con valores bajos de la madurez. Sin embargo, esto no parece afectar la relación con el índice gonádico ya que Pliego-Cárdenas (en preparación)

no encontró una relación entre estos dos índices en *O. hubbsorum* en la Isla Espíritu Santo, lo que indica que en la población de pulpo de ésta área la glándula digestiva no sería la principal fuente de reservas durante la reproducción, tal como ha sido documentado para el calamar *Loligo gahi* (Guerra & Castro, 1994; Ibáñez *et al.*, 2005). Esta diferencia podría explicarse por el hecho de que algunas especies de cefalópodos conducen la energía obtenida directamente del alimento ingerido hacia el desarrollo gonadal, incrementando la tasa de ingestión. Asimismo, existen otros sitios de reserva energética como el manto, la musculatura y vísceras (O'Dor & Wells, 1987).

Se observó que en el Parque Nacional “Bahía de Loreto”, durante el pico de madurez de febrero de las hembras de *O. hubbsorum*, los altos valores del índice gonádico coinciden con valores altos del índice de la glándula digestiva. En este periodo probablemente hay abundancia de alimento, pudiendo haber conducido la energía directamente del alimento consumido, sin necesidad de utilizar la energía reservada en la glándula digestiva. Lo anterior sugiere que esta especie utiliza ambas estrategias de gasto energético para la reproducción.

7.5.3 Factor de condición

En las primeras etapas de la vida, la energía y nutrientes que se incorporan a través de la alimentación se gastan casi por completo en el crecimiento somático, con el transcurso del tiempo, cuando se llega a la etapa adulta, parte de esta energía se utiliza en el desarrollo del material reproductor, en detrimento del crecimiento somático (Mangold, 1987). En *O. hubbsorum* en el Parque Nacional Bahía de Loreto los valores promedio del factor de condición presentaron fluctuaciones en ambos sexos de, sin embargo, se observa un aumento sostenido al inicio de la producción de gametos. Las hembras tienen su mejor condición cuando alcanzan su máxima madurez, posteriormente la condición disminuye coincidiendo con el momento en que realizan el desove, esto puede ser un indicador de que los organismos almacenan sustancias de reserva energética en la musculatura para utilizarla durante

la fase de desove y para enfrentar los requerimientos energéticos durante periodo de inanición debido al cuidado de los huevos. Esta disminución en la condición fue más notoria en las hembras, lo que indica un mayor gasto de energía a partir de su madurez hasta la puesta y cuidado de sus huevos.

La maduración sexual de las hembras de pulpos esta asociada al crecimiento somático, generalmente la madurez seguida por la puesta de huevos se presenta cuando las hembras han alcanzado su máximo tamaño. Por el contrario, los machos maduran precozmente y pueden permanecer en esta etapa durante un tiempo prolongado y en consecuencia, tienen la capacidad de transferir sus gametos en más de una ocasión antes de alcanzar su máximo tamaño (Olivares *et al.*, 2001). En *O. hubbsorum* se encontró que las hembras tuvieron su talla máxima en junio, coincidiendo con el momento en que tiene el valor de condición más alto y cuando han alcanzado su máxima madurez.

En los meses posteriores a cada uno de los picos de máxima reproducción se encontraron hembras que presentaban la musculatura flácida. Estas podrían ser hembras que ya realizaron la puesta y el cuidado de los huevos, y cuya condición se ha deteriorado por el periodo de inanición durante ese periodo.

7.6 Talla de madurez

En *O. hubbsorum*, los machos alcanzaron la madurez a tallas menores que las hembras. Algunas especies como *O. vulgaris* (Hernández-López, 2000; Silva *et al.*, 2002; Rodríguez-Rúa *et al.*, 2003; Idrissi *et al.*, 2006) y *O. mimus* (Ishiyama *et al.*, 1999, Cortez *et al.*, 1998) presentan esta misma característica, por lo que se puede señalar que es común que los pulpos machos maduren precozmente. En este sentido Fernández-Núñez *et al.* (1996), explican la precocidad en la madurez sexual de los machos como una estrategia para garantizar la presencia de machos completamente maduros, capaces de copular con hembras en distintas etapas de

maduración, esto significa que machos pequeños pero sexualmente maduros aumentan su éxito reproductivo al copular con hembras inmaduras pequeñas de talla similar, las cuales almacenan los espermatozoides dentro de las glándulas oviductales, hasta el momento en que alcanzan su madurez sexual y con hembras grandes totalmente maduras.

Se ha mencionado que entre los factores que controlan la madurez sexual y el desove en algunas especies de pulpo se encuentran los cambios en los factores ambientales y la presión pesquera. Raymundo-Huizar (1995) y Aguilar (1995), en estudios previos donde se determinó la madurez sexual de *O. hubbsorum* reportan tallas de madurez menores a las aquí encontradas, un resultado similar fue informado por López-Uriarte (2006) quien menciona que el fenómeno de El Niño en la costa del Pacífico mexicano durante 1997-1998 favoreció la disminución en la talla de madurez a 50.9 cm en hembras y 30 cm en machos. Esta diferencia en la talla de madurez podría atribuirse a las condiciones ambientales, y a la presión pesquera que se ejerce en las diferentes áreas donde se obtuvieron esos resultados.

Las condiciones ambientales, específicamente la temperatura del mar particularmente alta durante el fenómeno El Niño, pudo influir en la diferencia encontrada entre las tallas de madurez de *O. hubbsorum* de Bahía de Loreto y las que reportó López-Uriarte (2006) en las costas de Jalisco. La temperatura, como ya se mencionó, acelera los procesos metabólicos aumentando la tasa de crecimiento, con lo que también se anticipa la talla de madurez y puede disminuir la longevidad (Hernández-García, 2000). Como respuesta a la pesca, una población mostrará disminución de la edad y talla promedio a medida que desaparecen los organismos mayores y más viejos, y queda una mayor proporción de individuos jóvenes de más rápido crecimiento, este efecto se conoce como “renovación pesquera” (Smith, 1996). A diferencia del Parque Nacional “Bahía de Loreto”, el cual es un área natural protegida, en las costas de Jalisco se lleva a cabo una intensa pesquería de octópodos, así mismo se ha establecido una temporada de pesca que coincide con el periodo reproductivo de la especie (Aguilar, 1995) lo cual no favorece la

conservación del recurso. El crecimiento de los organismos depende, entre otros factores, de la densidad de la población, por lo que si la biomasa se reduce por efecto de la pesca, la tasa de crecimiento puede aumentar, mientras que cuando la pesca es moderada, se puede dar un aumento en la talla promedio por edades (Smith, 1996).

Velázquez-Abunader (2005) al estudiar la biología reproductiva de la langosta azul en el Parque Nacional “Bahía de Loreto”, encuentra diferencias en la talla de madurez de las langostas de esta área y las estudiadas en zonas como Sinaloa y Guerrero y atribuye esta diferencia a la presión pesquera aplicada a los organismos en esa zonas. Las diferencias encontradas entre organismos de diferentes áreas indicarían que el Parque Nacional “Bahía de Loreto” es una zona donde se encuentran poblaciones saludables al ser una zona relativamente virgen, donde no se aplica un alto esfuerzo de pesca.

Los resultados obtenidos en Bahía de Loreto podrían tomarse como punto de referencia para emplearse en el manejo de los recursos de áreas donde la explotación pesquera es intensa. Con base a los resultados obtenidos podrían proponerse algunas medidas de manejo para la pesquería de pulpo en Bahía de Loreto, tales como evitar la pesca durante el principal evento reproductivo de la especie, entre junio y septiembre para que las hembras puedan completar su madurez gonádica, realizar la puesta y llevar a cabo el cuidado parental. Otra de las medidas que podría emplearse es establecer una talla mínima de captura de 59.6 cm de longitud total.

VIII. CONCLUSIONES

- La proporción sexual total estuvo sesgada hacia los machos (1.0M: 0.73H) así como en junio (0.3H:1M) y diciembre (0.2H:1M),
- Los machos predominaron en la clase de talla de 40 a 44 cm, en los intervalos de talla siguientes la proporción sexual fue de 1:1.
- *Octopus hubbsorum* presentó dos temporadas de reproducción en el Parque Nacional “Bahía de Loreto”, de junio a septiembre y otra de menor intensidad en febrero. Los machos tienen un periodo de madurez más amplio, encontrándose maduros durante casi todo el ciclo.
- La temporada principal de reproducción está influenciada por el aumento de la temperatura del mar, siendo más intensa cuando la temperatura alcanzó los 26° C. El pico secundario de reproducción podría estar influenciado por la alta disponibilidad de alimento que se encuentra en el área durante los meses de invierno.
- Los dos picos de madurez sugieren la presencia de dos cohortes. Los organismos que provienen los desoves de la temporada principal de reproducción entre junio y agosto se reproducen a partir de mayo del siguiente año. Los organismos que fueron desovados a partir de la temporada reproductiva de febrero, se reproducen a partir de febrero del siguiente año.
- La correlación inversa proporcional entre el índice gonádico y el índice de la glándula digestiva podría indicar que los organismos toman energía almacenada en la glándula digestiva para iniciar su etapa reproductiva.

- *Octopus hubbsorum* tuvo la mejor condición cuando alcanzó la máxima madurez en ambos sexos, esta disminuyó cuando se realizó la puesta por parte de las hembras y la expulsión de gametos por los machos.
- La talla de madurez fue de 59.6 cm de longitud total, con un peso total de 615 g en hembras, y en machos de 49.7 cm longitud total y peso total de 405 g, estos alcanzan la madurez precozmente.

IX. RECOMENDACIONES

Para trabajos futuros se recomienda:

- Utilizar el índice gonádico para conocer la temporada de reproducción de las hembras *O. hubbsorum*.
- Realizar muestreos en un área más amplia para conocer con exactitud el comportamiento reproductivo de la especie.
- Realizar estudios de fecundidad para conocer el potencial reproductivo de esta especie
- Estudiar el desarrollo embrionario en laboratorio, así como el crecimiento durante las siguientes fases de desarrollo de la especie.
- Relacionar la actividad reproductiva de *O. hubbsorum* con el fotoperiodo y establecer si este factor es el desencadenante de la maduración gonadal.
- Realizar estudios bioquímicos e histoquímicos en la glándula digestiva y musculatura para confirmar la presencia de un ciclo de almacenamiento y utilización de sustancias energéticas y su relación con el evento reproductivo.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, C.S. 1995. Estudio biológico pesquero del pulpo *Octopus* sp. (Cephalopoda: Octopoda) en la costa sur del Estado de Jalisco. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México. 60 p.
- Alejo-Plata, M.C. & G. Cerdenarez-Ladrón de Guevara. 2001. Caracterización de la pesca de pulpo (Cephalopoda:Octopoda) en las costas de Oaxaca, México. En: Memorias del I Foro Científico de Pesca Ribereña. INP-CRIP. Guaymas, Sonora.
- Ambrose, R.F. 1988. Population dynamics of *Octopus bimaculatus*: influence of life history patterns, synchronous reproduction and recruitment. *Malacologia*, 29(1): 23-39.
- Anónimo. 2000. Programa de Manejo. Parque Nacional Bahía de Loreto. SEMARNAP. México. 54 p.
- Anónimo. 2004. Instituto Nacional de la Pesca. Carta Nacional Pesquera 2000. México. 47-48 p.
- Araya, C.M., J. Penailillo, M. Medina & P. Pizarro. 1999. Estudio de edad y crecimiento del recurso pulpo (*Octopus mimus*) de la I y II regiones. Subsecretaría de Pesca. Chile. Informe final del proyecto F.I.P. N° 97-28. 141 p.
- Arreola-Hernández, J.F. 1997. Aspectos reproductivos de *Dosinia ponderosa*, Gray 1838 (Bivalvia: Veneridae) en Punta Arena, Bahía Concepción, B.C.S. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, La Paz, B.C.S., México. 96 p.

- Baltazar, P., P. Rodríguez, W. Rivera & V. Valdivieso. 2000. Cultivo experimental de *Octopus mimus* Gould, 1852 en el Perú. *Rev. Peru. Biol.*, 7(2): 151-160.
- Baqueiro, C.E., Masso, J.R. & B.H. Guajardo. 1982. Distribución y abundancia de moluscos de importancia comercial en B.C.S. Serie Div. No 11. SEPESCA. Inst. Nal. de Pesca. México. 25 p.
- Bermúdez, B. 2003. Parque Nacional Bahía de Loreto. Página disponible en http://www.mapa.es/rmarinas/jornada_rrmm/bahia_loreto.pdf.
- Berry, S.S. 1953. Preliminary diagnosis of six west American species of *Octopus*. *Leaflets in Malacology*, 1(10). 51-58.
- Boletzky, S.V, M. Fuentes & N. Offner. 2001. First record of spawning and embryonic development in *Octopus macropus* (Mollusca, Cephalopoda). *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 81(4): 703-704.
- Boucad-Camou, E. & R. Boucher-Rodoni. 1983. Feeding and digestion in cephalopods. Pp. 149-187. En: A.S.M. Saleuddin & K.M. Wilbur (Eds.) *The Mollusca*, Vol. 5, part 2. Academic Press, New York. 500 p.
- Boyle, P.R. & D. Chevis. 1992. Egg development in the octopus *Eledone cirrhosa*. *J. Zool.*, 227: 623-638.
- Brusca, R. C. 1980. Common intertidal invertebrates of the Gulf of California. University of Arizona, Tucson. 513 p.
- Callow, P. 1979. The cost of reproduction. A physiological approach. *Biol. Rev.*, 54:23-40.

- Cardoso, F., P. Villegas & C. Estrella. 2004. Observaciones sobre la biología de *Octopus mimus* (Cephalopoda:Octopoda) en la costa peruana. *Rev. Peru. Biol.*, 11(1): 45-50.
- Carvajal, W., P. Ramírez, J. De la Cruz & J. Castro. 2003. Evaluación del recurso pulpo *Octopus mimus* en las islas Lobos de Tierra Y de Afuera – Lambayeque. Informe de evaluación Instituto del Mar de Perú. 27 p.
- Carvalho J.M.N. & C. Sousa-Reis. 2003. Contributions to knowledge on the maturation and fertility of the common octopus *Octopus vulgaris*. Cuvier, 1797 on the Portuguese coast. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 19 (1-4): 473-481.
- Castro, B.G., J. L. Garrido & C.G. Sotelo. 1992. Changes in the composition of the digestive gland and the mantle muscle of cuttlefish *Sepia officinalis* L. during starvation. *Mar. Biol.*, 114:11-20.
- Caverivière, A., F. Domain & A. Diallo. 1999. Observations on the influence of temperature on the length of embryonic development in *Octopus vulgaris* (Senegal). *Aquat. Liv. Res.*, 12(2):151-4.
- Cortez, T. 1995. Biología y Ecología del pulpo común *Octopus mimus* Gould, 1852 (Mollusca: Cephalopoda) en aguas litorales del norte de Chile. Tesis de Doctorado. Universidad de Vigo, Vigo, España. 293 p.
- Cortez, T., B.G. Castro & A. Guerra. 1995. Reproduction and condition of female *Octopus mimus* (Mollusca: Cephalopoda). *Mar. Biol.*, 123:505-10.
- Cortez, T., A. Guerra & J. Vergara. 1998. Caracterización del ciclo reproductivo del recurso pulpo (*Octopus mimus*) en la regiones I a III. Subsecretaría de Pesca. Chile. Informe final del proyecto F.I.P. N° 96-47. 100 p.

- Day, R. W. & G. P. Quinn. 1989. Comparisons of treatments after an analysis of variance in ecology. *Ecol. Monogr.*, 59:433-463.
- Dia, M.A. 1988. Biology and exploitation of common Octopus (*Octopus vulgaris* Cuvier, 1797) along the Mauritanian coasts. Tesis de Doctorado. Université de Bretagne Occidentale, Brest, Francia. 164 p.
- Dia, M.A. & A. Goutschine. 1990. Echelle de maturité sexuelle du poulpe (*Octopus vulgaris*, Cuvier 1797). *Bull. CNROP*, 21:1-6.
- Diario Oficial de la Federación. 1994. 16 de mayo.
- Fernández-Núñez, M.M., C.L. Hernández-González, C. Perales-Raya & E. Balguerías. 1996. Reproductive biology of the octopus *Octopus vulgaris* Cuvier, 1797 from North Western African Coast (21°N-26°N). Shellfish Committee C. M. / K:15. ICES (International Council for the Exploration of the Sea). Copenhagen, Denmark. 18 p.
- Grant, A. y P. Tyler. 1983. The analysis of data in studies of invertebrate reproduction. I. Introduction and statistical analysis of gonada indices and maturity indices. *Int. J. Invertebr. Reprod.*, 6:259-269.
- González-Rendón, R., B. Mejía-Sarmiento, F. Lizárraga-Castañeda & S. Lizárraga-Ortiz. 1990. Artes y métodos de captura para el pulpo en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. Memoria para obtener el título de Biólogo Pesquero. Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa, México. 51 p.
- Gorrostieta, H.E. 1997. Ciclo gonádico de *Arca pacifica* (Sowerby, 1833) y de *Cardita affinis*, Sowerby, 1833 (Mollusca: Bivalvia) en Punta Arena, Bahía Concepción,

- B. C. S. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, La Paz, B.C.S., México. 112 p.
- Guerra, A. 1975. Determinación de las diferentes fases del desarrollo sexual de *Octopus vulgaris* Lamarck mediante un índice de madurez. *Inv. Pesq.*, 39(2): 397-416.
- Guerra, A. & B.G. Castro. 1994. Reproductive somatic relationships in *Loligo gahi* (Cephalopoda: Loliginidae) from the Falkland island. *Antartic Sci.*, 6:175-8.
- Hatanaka, H. 1979. Spawning season of common octopus, *Octopus vulgaris* Cuvier, off the north-western coast of Africa. *CECAF/ECAF Ser.*, 78(11):135-146.
- Hatfield, E., P.G. Rodhouse & D.L. Barber. 1992. Production of soma and gonad in maturing female *Illex argentinus* (Mollusca: Cephalopoda). *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 72:281-291.
- Hernández-García, V., J.L. Hernández-López & J.J. Castro-Hernández. 2002. On the reproduction of *Octopus vulgaris* off the coast of the Canary Islands. *Fish. Res.*, 57:197-203.
- Hernández-López, J.L. 2000. Biología, ecología y pesca del pulpo común ("*Octopus vulgaris*", Cuvier 1979) en aguas de Gran Canaria. Tesis de Doctorado. Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, España. 197 p.
- Hernández-Olalde, L. 2003. Ciclo reproductivo de la ostra perlera *Pteria sterna* (Gould, 1851) (Mollusca: Pteriidae) en la Laguna Ojo de Liebre, B.C.S., México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, La Paz, B.C.S., México. 80 p.

- Herrero-Pérezrul, M. D. 1994. Estudio comparativo de la reproducción de *Isostichopus fuscus* (Ludwig, 1875) y *Neothyone gibbosa* Deichmann, 1941 (Echinodermata: Holothuroidea), en la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, La Paz, B.C.S. 88 p.
- Ibáñez, C.M., J. Chong & M.C. Pardo-Gandarillas. 2005. Relaciones somatométricas y reproductivas del calamar *Loligo gahi* Orbigny, 1835 en Bahía Concepción, Chile. *Investig. Mar.*, 33(2):211-215.
- Idrissi, F.H., N. Koueta, M. Idhalla, D. Belghyti & S. Bencherifi. 2006. Les modalités du cycle sexuel du poulpe *Octopus vulgaris* du Sud marocain (Tantan, Boujdour). *C. R. Biologies*, 329(11):902-911.
- Iglesias, J., F.J. Sánchez & J.J Otero. (1997). Primeras experiencias sobre el cultivo integral del pulpo (*Octopus vulgaris*) en el Instituto Español de Oceanografía. En: Costa, J., E. Abellán, B. García, A. Ortega & S. Zamora (Eds.). Actas del VI Cong. Nac. de Acuicultura, Cartagena, 221-226 p.
- Ishiyama, V., B. Shiga & C. Talledo. 1999. Biología reproductiva del pulpo *Octopus mimus* (Mollusca: Cephalopoda) de la región de Matarani, Arequipa, Perú. *Rev. Peru. Biol.*, 6(1):110-122.
- Khallahi, O.M.F. 2001. Étude de la gamétogenèse chez le poulpe *Octopus vulgaris* (Cuvier, 1797). *Bull. CNROP.*, 28:45-53.
- Leyva-Villarreal, M.M., S.A. Osuna-Marroquín., A.L. Ley-Montoya, F. Cervantes-Galaviz & J.A. Quiñónez-Cruz. 1987. Contribución al conocimiento biológico del pulpo *Octopus* sp. en la Bahía Mazatlán, Sinaloa, México. Memorias de Servicio Social Universitario. Escuela de Ciencias del Mar. Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa, México. 79 p.

- López-Uriarte, E., O. Sosa-Nishizaki, M. Guzmán-Arroyo & E. Ríos-Jara. 2000. Explotación pesquera del pulpo de Hubbs *Octopus hubbsorum* Berry 1953 (Cephalopoda: Octopodidae) en la costa de Jalisco, México. XII Congreso Nacional de Oceanografía, Huatulco, México.
- López-Uriarte, E. 2006. Ciclo vital y pesca del pulpo *Octopus hubbsorum* Berry 1953 (Cephalopoda: Octopodidae) en la costa de Jalisco, México. Tesis de Doctorado. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México. 194 p.
- Mangold-Wirtz, K. 1963. Biologie des céphalopodes benthiques et nectoniques de la mer catalane. *Vie et Milieu Suppl.*, 13:285 p.
- Mangold, K. 1983. *Octopus vulgaris*, pp. 335-364. En: Boyle P. R. (Ed.). Cephalopod Life Cycles Vol. I. Species Accounts. Academic Press. Inc., Londres. 475 p.
- Mangold, K. & S.V. Boletzky. 1973. New data on reproductive biology and growth of *Octopus vulgaris*. *Mar. Biol.*, 19:7-12.
- Mangold, K. 1987. Reproduction, pp. 157-200. En: Boyle P. R. (Ed.). Cephalopod Life Cycles Vol. II. Comparative Reviews. Academic Press. Inc., Londres. 441 p.
- Marsh, J. & M. Fox. 2007. Gulf of California seafood report. Monterey Bay Aquarium. Reporte final. 72 p.
- Moxica, C., F. Linares, J.J. Otero, J. Iglesias & F.J. Sánchez. 2002. Cultivo intensivo de paralarvas de pulpo, *Octopus vulgaris* Cuvier, 1797, en tanques de 9 m³. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 18 (1-4): 31-36.
- Muñetón-Gómez, M.S., M.T. Villalejo-Fuerte & G. García-Melgar. 2000. Manual de técnicas histológicas aplicadas a organismos marinos. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S. 81 p.

- O'Dor, R.K. & M.J. Wells 1973. Yolk protein synthesis in the ovary of *Octopus vulgaris* and its control by the gland gonadotropin. *J. Exp. Biol.*, 59:665-674.
- O'Dor, R.K. & M.J. Wells. 1978. Reproduction versus somatic growth: hormonal control in *Octopus vulgaris*. *J. Exp. Biol.*, 77:529-40.
- O'Dor, R.K. & M.J. Wells. 1987. Energy and nutrient flow. Pp. 109-133. En: Boyle P.R. (Ed.). *Cephalopod Life Cycles Vol. II. Comparative Reviews*. Academic Press. Inc., Londres. 441 p.
- Olivares, P.A., E. Bustos-Obregon & A.V. Castillo. 2003. Variaciones del funcionamiento testicular en *Octopus mimus* adultos. *Int. J. Morphol.*, 21(4) 315–323.
- Olivares, P.A., M. Zamora-Covarrubias, P. Portilla-Reyes & O. Zúñiga-Romero. 2001. Estudio histológico de la ovogénesis y maduración ovárica en *Octopus mimus* (Cephalopoda: Octopodidae) de la II región de Chile. *Estud. Oceanol.*, 20:13-22.
- Otero, J., A.F. González, M.P. Sieiro & A. Guerra. 2007. Reproductive cycle and energy allocation of *Octopus vulgaris* in Galician waters, NE Atlantic. *Fish. Res.*, 85:122-129.
- Perez, J.A.A. & M. Haimovici. 1991. Sexual maturation and reproductive cycle of *Eledone massyae* (Cephalopoda: Octopodidae) in southern Brazil. *Bull. Mar. Sci.*, 49(1-2):221-230.
- Pierce, J. G., & A. Guerra. 1994. Stock assessment methods used for cephalopod fisheries. *Fish. Res.*, 21:255-285.

- Raymundo-Huizar, A. 1995. Análisis de la abundancia relativa de pulpo *Octopus hubbsorum* (Cephalopoda: Octópoda) y su distribución espacial durante la temporada de pesca 1993 en el área denominada "El Estrecho". Tesis de Licenciatura. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México. 73 p.
- Ríos-Jara, E., I. Enciso-Padilla, E. López-Uriarte, M. Pérez-Peña, E. Juárez-Carrillo & G. Robles-Jarero. 2001. Moluscos macrobénticos del intermareal y plataforma continental de Jalisco y Colima. CONABIO. Informe final del proyecto S110. 101p.
- Rocha, F., A. Guerra & A.F. González. 2001. A review of reproductive strategies in cephalopods. *Biol. Rev.*, 76: 291-304.
- Rodríguez-Rúa, A., I. Pozuelo, M.J. Gómez & M.A. Bruzón. 2003. Ciclo reproductor y talla de madurez sexual del pulpo común (*Octopus vulgaris*) en el litoral Atlántico andaluz. Página disponible en: http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/pesca/acuicultura/descargas/Moluscos/4_ciclo_reproductor_pulpo.pdf
- Rodríguez-Rúa, A., I. Pozuelo, M.A. Prado, M.J. Gómez & M.A. Bruzón. 2005. The gametogenic cycle of *Octopus vulgaris* (Mollusca: Cephalopoda) as observed on the Atlantic coast of Andalusia (south of Spain). *Mar. Biol.*, 147(4):927-933.
- Santamaría-Miranda, A., J.F. Elorduy-Garay, M. Villalejo-Fuerte & A. Rojas-Herrera. 2003. Desarrollo gonadal y ciclo reproductivo de *Lutjanus peru* (Nichols y Murphy, 1922), Pisces: Lutjanidae, en Guerrero, México. *Rev. Biol. Trop.*, 51(2): 489-502.
- SEMARNAP. 1999. Anuario Estadístico de Pesca 1998. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Gobierno Federal. México.

- SEMARNAP. 1999. Estadísticas pesqueras básicas, Dir. Gral. de Informática y Reg. Pesq. México, 125 p.
- Sibly R.M & P. Callow. 1986. Physiological ecology of animals: an evolutionary approach. Blackwell Scientific Publications, Londres. 179 p.
- Silva L., I. Sobrino & F. Ramos. 2002. Reproductive biology of the common octopus, *Octopus vulgaris* Cuvier, 1797 (Cephalopoda: Octopodidae) in the Gulf of Cadiz (SW Spain). *Bull. Mar. Sci.*, 71(2):837-850.
- Sokal, R.R. & F.J. Rohlf. 1979. Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. H. Blume, Madrid. 832 p.
- Solís-Ramírez, M. J. 1967. Aspectos biológicos del pulpo, *Octopus maya*, Voss y Solís. Publ. Inst. Nac. Inv. Biol. Pesq., 18:1-90.
- Solís-Ramírez, M.J. & E.A. Chávez. 1986. Evaluación y régimen óptimo de pesca de pulpo de la Península de Yucatán, México. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol. Univ. Nal. Autón. Méx.*, 13(3): 1-18.
- Somerton D. 1980. A computer technique for estimating the size of sexual maturity in crabs. *Can. J. Fish. Aquatic. Sci.*, 37:1488-1494.
- Smith, P. J. 1996. La diversidad genética de los recursos pesqueros marinos: posibles repercusiones de la pesca. FAO Documento Técnico de Pesca. No. 344. Roma. 59 p.
- Ulloa, R., D. Alvarado, A. Vargas, C. Hudson, P. Palacios & M. Rivadeneira. 2007. Propuesta para una zonificación del sistema pesquero ribereño del Golfo de California. Informe de Avance Programa WWF Golfo de California. Guaymas, Sonora. 144 p.

- Velázquez-Abunader, J.I. 2005. Biología reproductiva de la langosta azul *Panulirus inflatus* (Bouvier, 1895) en el Parque Nacional "Bahía de Loreto", Golfo de California. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, La Paz, B.C.S., México. 79 p.
- Villalejo-Fuerte, M., A. Tripp-Quezada & F. García-Domínguez. 2005. Variación de los índices gonádico, de rendimiento muscular y de la glándula digestiva de *Spondylus princeps* (Gray, 1825) (Mollusca: Bivalvia) en Isla Cedros y Punta Eugenia, México. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 40(1): 87-90.
- Voss, G. L. & M.J. Solís-Ramírez. 1966. *Octopus maya*, a new species from the Bay of Campeche. *Bull. Mar. Sci.*, 16(3): 615.
- Wells, 1960. Optic gland and the ovary of *Octopus*, pp 303. En: Giese A. C. & J.S. Pearse (Eds.). *Reproduction of Marine Invertebrates Vol. IV. Molluscs: Gastropods and Cephalopods*. Academic Press Inc., New York. 367 p.
- Wells, M. & J. Wells. 1977. Cephalopoda: Octopoda. pp 291-336. En: Giese, A. C. & J.S. Pearse (Eds.). *Reproduction of Marine Invertebrates Vol. IV. Molluscs: Gastropods and Cephalopods*. Academic Press Inc., New York. 367 p.
- Wells, M. 1978. *Octopus*. Physiology and behaviour of an advanced invertebrate. Chapman and Hall. Londres. 417 p.