



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología

Universidad Nacional Autónoma de México



**Reproducción del pulpo *Octopus hubbsorum* Berry,
1953 en Bahía Magdalena, B.C.S, México.**

T E S I S

que para obtener el grado académico de

Maestro en Ciencias

(Biología Marina)

p r e s e n t a

JOSÉ FRANCISCO DOMÍNGUEZ CONTRERAS

Director de Tesis:

Dr. Marcial Arellano Martínez (CICIMAR-IPN)

Comite Tutorial:

Dra. Bertha Patricia Ceballos Vázquez (CICIMAR-IPN)

Dr. Carlos Rosas Vázquez (UMDI-UNAM)

Dra. Ma. Del Carmen Uribe Aranzábal (Faculta de Ciencias-UNAM)

Dra. Cristina Pascual Jiménez (UMDI-UNAM)

Dr. Jorge Alberto López Rocha (UMDI-UNAM)

La Paz B.C.S., México, 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Ante la realización del presente trabajo debo de agradecer sinceramente a dos casas de estudio una es la UNAM principalmente al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL-UNAM) por permitirme formar parte de su programa de posgrado y por las herramientas otorgadas, mi otro y no menos importante agradecimiento es al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN) por permitirme laborar en sus instalaciones sin restricción alguna y por el financiamiento de esta investigación a través de los proyectos SIP 20090876, SIP 20100505, SIP 20101187. También debo de agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por sustentar el costo de mis estudios y el de mi nueva familia.

Es muy grato haber conocido personas que aun con carencias están dispuestas a apoyar con tiempo y recursos, los estudios que realiza un total desconocido en su comunidad, tales personas son claro ejemplo de la perseverancia ante la adversidad, me refiero a las personas de la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera de Bahía Magdalena, tales como Juan Carlos, Manuel, Francisco (el diablo) y muchos más quienes junto con su presidente Teodoro Beltrán de la Toba hicieron posible este trabajo de investigación.

Durante y hasta el último momento es inevitable agradecer a quienes formaron parte indiscutible de este manuscrito, iniciando por el Dr. Marcial Arellano Martínez que además de ser un experimentado investigador también es una magnífica persona, a la Dra. Bertha Patricia Ceballos Vázquez por su apoyo incondicional en cualquier momento. Necesito también expresarme amablemente ante la gente de UMDI-SISAL en Yucatán, especialmente al Dr. Carlos Rosas Vázquez que supo ubicarme de lleno en la investigación de pulpos, también y muy cordialmente quisiera agradecer a la Dra. Cristina Pascual Jiménez quien reviso y se refirió a este manuscrito con las mejores intenciones y aportaciones, al Dr. Jorge Alberto López Rocha quien apoyo directamente en este trabajo con un enfoque distinto pero saludable, por ultimo agradezco a la Dra. María del Carmen Uribe Aranzábal de la FC-UNAM-DF por su valiosa aportación en el presente trabajo.

A las personas tan amables que se encuentran en servicios escolares del ICMyL, Chantal, Lupita, Diana, Gaby y la Dra. Gloria por su apreciable apoyo a distancia.

A mis padres Mauricio y Alma quienes saben confiar en mi aun cuando los errores son evidentes, quienes me apoyan y alientan a seguir en busca de mis sueños, quienes siempre tendrán sus brazos abiertos para mí y mis hermanas Evelyn, Lizbeth y Dora, a ellas también les agradezco de todo corazón.

También agradezco a aquellos que indirectamente contribuyeron en esta tesis: Orso, Yssel, Uriel, Nataly, Saúl, Nayeli, Mike, Raúl, Marco, Sandra, Abril, Josué, Mariam, Alejandra, Dany H., Flor, Eliasib, Nurenskaya, Ariadna, Denny, Jaime, Gerardo, Oscar, Cristina, Alba, Elia, Balam, Claudia, Alma, Marcos, Martin, Wezz, Marce, Hilda y muchos mas...

Dedicado especialmente a:

Jacko

y

Sam...

Dos motivos en mi vida más grandes que el océano

Contenido

I. Introducción.....	1
II. Antecedentes	3
2.1 Generalidades	3
2.2 Diagnósis de la especie	3
2.3 Distribución y hábitat.....	5
2.4 Pesquería.....	5
2.5 Reproducción.....	6
III. Justificación	8
IV. Objetivos.....	9
4.1 Objetivo General.....	9
4.2 Objetivos particulares	9
V. Área de estudio	10
VI. Material y métodos	12
6.1 Obtención de muestras.....	12
6.2 Trabajo en laboratorio.....	12
6.3 Proporción sexual	13
6.4 Actividad reproductiva	14
6.4.1 Desarrollo gonádico	14
6.4.2 Ciclo y época reproductiva	16
6.4.3 Diámetro de los ovocitos.....	16
6.5 Índices morfofisiológicos	17
6.5.1 Índice gonadosomático	17
6.5.2 Índice de madurez	17
6.5.3 Índice de la glándula oviductal.....	18
6.5.4 Índice de la glándula digestiva	18
6.6 Relación de la temperatura con el ciclo reproductivo.....	19
6.7 Frecuencia de tallas y pesos.....	19
6.8 Relación talla-peso.....	20
6.9 Talla y peso de madurez	20
6.10 Análisis estadísticos.....	21
6.11 Análisis de progresión modal	21

VII. Resultados	23
7.1 Proporción sexual	23
7.2 Tipo de desarrollo gonadal por medio de estadios de ovocitos	23
7.3 Vitelogénesis identificada por medio de estadios de ovocitos y fases de desarrollo	25
7.4 Ciclo y época reproductiva	26
7.5 Diámetro de ovocitos	28
7.6 Número de espermatozoides	29
7.7 Índice gonadosomático	30
7.8 Índice de madurez	31
7.1 Índice de la glándula oviductal	32
7.2 Índice de la glándula digestiva	32
7.3 Distribución de tallas y pesos	34
7.4 Relación talla-peso	36
7.5 Talla y peso de madurez	37
7.6 Análisis de progresión modal	38
VIII. Discusión	41
8.1 Proporción de sexos	41
8.2 Tipo de desarrollo gonadal por medio de estadios de ovocitos	42
8.3 Vitelogénesis obtenida por medio de estadios de ovocitos y fases de desarrollo	43
8.4 Ciclo y época reproductiva	43
8.5 Diámetro de ovocitos	46
8.6 Número de espermatozoides	47
8.7 Glándula oviductal	47
8.8 Distribución de tallas y pesos	48
8.9 Tipo de crecimiento	50
8.10 Talla de madurez	51
8.11 Progresión modal	51
IX. Conclusiones	53
X. Literatura citada	56
XI. ANEXO I	65
11.1 Descripción citológica del desarrollo ovárico obtenida de Baeg <i>et al.</i> (1993) para <i>Loligo bleekeri</i> , Laptikhovskhi y Arhipkin (2001) para <i>Loligo gahi</i> y Olivarez-Paz <i>et al.</i> (2001) para <i>Octopus mimus</i>	65
11.2 Fases de madurez en machos propuestas por Rodríguez-Rúa <i>et al.</i> (2005) para <i>O. vulgaris</i>	69

Lista de figuras

Figura 1. Captura anual de la pesquería de pulpo en Baja California Sur (SAGARPA, 2006).	2
Figura 2. Fotografías <i>in situ</i> de <i>O. hubbsorum</i> tomadas en Bahía Magdalena B.C.S, México. Foto: © Francisco Domínguez Contreras.....	4
Figura 3. Complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas ubicada en la costa sur-occidental de la península de Baja California, México.	11
Figura 4. Medidas de la longitud total y del manto dorsal de <i>Octopus sp.</i>	13
Figura 5. Vista dorsal del sistema reproductor de <i>Octopus sp.</i>	14
Figura 6. Determinación de fases de desarrollo gonadal y vitelogénesis (madurez funcional)	16
Figura 7. Frecuencia vitelogénica obtenida de la proporción de estadios de ovocitos de <i>O. hubbsorum</i> en Bahía Magdalena, B.C.S., México.	25
Figura 8. Frecuencia de las fases de desarrollo gonadal de hembras y machos de <i>O. hubbsorum</i> en Bahía Magdalena, B.C.S, México.	27
Figura 9. Variación mensual del diámetro promedio de los ovocitos de <i>O. hubbsorum</i> durante el periodo de estudio (barras = Error Estándar).....	28
Figura 10. Variación promedio mensual de espermátóforos de <i>O. hubbsorum.</i>	29
Figura 11. Variación mensual del índice gonadosomático de machos y hembras de <i>O. hubbsorum</i> y la temperatura del agua en Bahía Magdalena, B.C.S., México.	30
Figura 12. Variación mensual del índice de madurez de machos y hembras de <i>O. hubbsorum</i> y la temperatura del agua de Bahía Magdalena, B.C.S., México	31
Figura 13. Variación mensual promedio del índice de la glándula oviductal (IGO) en hembras de <i>O. hubbsorum</i> en Bahía Magdalena, B.C.S., México.....	32
Figura 14. Variación mensual de la temperatura y el índice de la glándula digestiva de machos y hembras de <i>O. hubbsorum</i> en Bahía Magdalena, B.C.S., México.....	33
Figura 15. Análisis de Kruskal-Wallis del peso de la glándula digestiva de hembras en las distintas fases de desarrollo gonadal.....	33
Figura 16. Distribución de frecuencias de peso total, longitud total y longitud del manto dorsal, de hembras y machos de <i>O. hubbsorum</i> en Bahía Magdalena, B.C.S., México.	35
Figura 17. Comparación de pendientes de la relación del peso total, la longitud del manto dorsal y la longitud total de machos y hembras de <i>O. hubbsorum</i> de Bahía Magdalena, B.C.S. México.....	36
Figura 18. Modelo logístico para la determinación de la Longitud del manto dorsal y Peso total de madurez	37
Figura 19. Progresión modal mensual de la longitud del manto dorsal obtenida del modelo multinomial de máxima verosimilitud para el periodo noviembre 2008-2009 de <i>O. hubbsorum</i> en Bahía Magdalena.	39
Figura 20. Fotomicrografías de la descripción citologica del desarrollo ovárico	67
Figura 21. Fotomicrografías de la descripción citologica del desarrollo ovárico.	68
Figura 22. Fotomicrografías del desarrollo del testículo.....	70

Lista de Tablas

Tabla I. Proporción sexual mensual y anual de <i>O. hubbsorum</i> en Bahía Magdalena, B.C.S., México.....	23
Tabla II. Frecuencia promedio de estadios de ovocitos por fase de madurez gonádica de <i>O. hubbsorum</i>	24
Tabla III. Correlación de variables obtenidas para machos y hembras de <i>O. hubbsorum</i>	34
Tabla IV. Modas observadas de la Longitud del manto dorsal en el periodo de noviembre 2008-2009,.....	40
Tabla V. Rango de tallas de <i>Octopus hubbsorum</i> reportadas en diferentes localidades.	48

Resumen

Octopus hubbsorum es la principal especie de captura en el Pacífico mexicano, y Bahía Magdalena no es la excepción. Sin embargo existe poca información biológica y ecológica, respecto a la especie; por lo que determinar su temporada reproductiva es un aspecto fundamental para poder optimizar su sustentabilidad. Se realizaron capturas mensuales durante el periodo noviembre 2008-2009. Se analizaron un total de 300 pulpos. La proporción sexual anual fue 1♂:1♀, con una alternancia en las proporciones donde el número de hembras fue mayor de noviembre de 2008 a abril de 2009, a partir de mayo 2009 y hasta noviembre de 2009 la proporción de machos supera a la de hembras. De cada uno de los organismos se registro la Longitud del Manto Dorsal (LMD), la Longitud Total (LT), el Peso Total (PT), también fueron tomados los pesos de la gónada (ovario o testículo), del complejo oviductal, del complejo de Needham, de la glándula digestiva, así como el diámetro de las glándulas oviductales y el número de espermátóforos presentes en el complejo de Needham. Se calcularon los índices gonadosomático (IGS), de madurez (IM), de la glándula oviductal (IGO) y de glándula digestiva (IGD) para determinar el estado reproductivo y la condición de los organismos. Una porción (aprox. 1 cm³) de la gónada fue analizada por medio de histología. La determinación de seis fases de desarrollo en hembras se hizo en base a la proporción de estadios celulares observados por cada corte histológico. En machos solo se utilizaron cuatro fases (inmaduro, desarrollo, madurez y espermiación). No se observaron machos inmaduros. La variación mensual de los índices y la evidencia microscópica indican que los machos se encuentran maduros durante todo el año, mientras que las hembras presentan una temporada reproductiva de mayo a octubre de 2009. La proporción de estadios celulares muestra claramente que el desarrollo del ovario es de grupos-sincrónicos con un desove simultáneo terminal. Una transición de madurez fisiológica a una madurez funcional ocurre relativamente rápida (un mes). El IGD no mostró una variación significativa a través del año, sin embargo un análisis por fase de desarrollo en hembras indica que el peso de la glándula incrementa significativamente ($p < 0.05$) hasta el pre-desove, lo que permite suponer que no existe una transferencia de energía directa glándula-gónada. El número de espermátóforos se incrementa conforme se acerca la temporada reproductiva como una posible respuesta a la competencia de espermias. Existe correlación entre la temperatura y el IGS de hembras ($r = -0.21$, $p < 0.05$) cuando la temperatura inicia su incremento de mayo 2009 a septiembre 2009 de 17°C a 27.5°C. Hasta el momento *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena es el organismo más grande registrado, alcanzando 3.7 kg de PT y 1.02 m de LT, presenta un tipo de crecimiento alométrico negativo y donde los machos alcanzan un mayor peso a una longitud menor que las hembras, de las cuales el 50% son consideradas maduras a una talla de 119.7 mm de LMD y un peso total de 628.58 g. En el caso de los machos se encontraron organismos maduros desde tallas muy pequeñas (70 mm de LMD, 205 g de PT). Un análisis de progresión modal de tallas de LMD muestra la presencia de al menos 2 cohortes que pueden estar relacionadas con el evento reproductivo. El presente estudio generó dos puntos importantes para el manejo pesquero de *O. hubbsorum*: 1) una talla mínima de captura de 120 mm de LMD y 600 g de peso total (con viseras), 2) una temporada de veda durante el evento reproductivo (junio-octubre). Sin embargo, estos puntos son precautorios solo para Bahía Magdalena ya que se ha observado que las condiciones ambientales de cada región influyen en la plasticidad del crecimiento y su condición reproductiva.

Abstract

Octopus hubbsorum is the main species of capture in the Mexican Pacific, and Bahía Magdalena is not the exception. Nevertheless the biological and ecological information is poorly, with respect to the species; therefore determine its reproductive season is fundamental to optimize its sustainability. Captures monthly was realized during November 2008-2009. A total of 300 octopuses were analyzed. The annual sex ratio was 1♂: 1♀, with a rotation in the ratio where the female's number was greater of November 2008 to April 2009, and of May 2009 to November 2009 the males ratio surpasses to the females. From each organisms was registered the Dorsal Mantle Length (LMD), the Total Length (LT), the Total Weight (PT), also was taken the weights from the gonad (ovary or testicle), of the oviductal complex, the Needham's complex, the digestive gland, as well as the diameter of the oviductal glands and the number of spermatophores presents in the Needham's complex. The Indices gonadosomatic (IGS), of maturity (IM), the oviductal gland (IGO) and the digestive gland (IGD) were calculated to determine both the reproductive state and the condition of the organisms. A portion (approx. 1cm³) of the gonad was analyzed by means of standard histology. The determination of six development phases in females became on the basis of the ratio of cellular stages observed by each histological cut. In males four phases were only used (immature, development, maturity and spermiation). Immature males were not observed. The monthly variation of both the index and the microscopic evidence indicate that the males are mature throughout the year, whereas the females display one season reproductive of May to October 2009). The ratio of cellular stages evidence clearly that the development of the ovary is of group-synchronous with a simultaneous terminal spawning. A transition of physiological maturity to a functional maturity happens relatively fast (one month). The IGD did not show a significant variation through year, nevertheless an analysis by development phase in females indicates that the weight of the gland increases until the pre-spawning ($p < 0.05$), this allows to suppose that gland-gonad does not exist a direct transference of energy. The spermatophores number increased as approaches the reproductive season like a possible answer the competition of sperm. A correlation is evident between the temperature and the IGS of females ($r = -0.21$, $p < 0.05$) when the temperature increase of May 2009 to September 2009 (17°C to 27.5°C). Until the moment *O. hubbsorum* in Bahía Magdalena is the registered greatest organism, reaching 3.7 kg of PT and 1.02 m of LT, with a negative allometric growth and the males reach a greater weight to a longitude smaller than the females, of which 50% are considered mature with 119.7 mm of LMD and a 628.58 g PT. In the case of the males mature organisms were from very small size (70 mm of LMD, 205 g of PT). A modal progression analysis of LMD shows the presence of at least two cohorts that can be related to the reproductive event. The present study generated two important points for the fishing handling of *O. hubbsorum*: 1) minimum size of capture of 120 mm of LMD and 600 g PT (with entrails), 2) one season of no fishing during the reproductive event (June-October). Nevertheless, these points are precautionary only for Bahía Magdalena since it has been observed that the environmental conditions of each region influence in the plasticity of the growth and its reproductive condition.

I. Introducción

Los moluscos cefalópodos comúnmente se constituyen por pulpos, calamares, sepias y en conjunto con los calamares vampiro (vampiromorfos) y *Nautilus* definen la clase Cefalópoda. La mayor abundancia (alrededor de 100 especies descritas) de pulpos se encuentran en la zona nerítica, principalmente entre los 15 y 100 metros de profundidad en todos los tipos de fondo (Boyle y Rodhouse, 2005) distribuyéndose principalmente en aguas tropicales y templadas en todo el mundo (Ambrose, 1988).

La alta calidad proteica y el máximo aprovechamiento (85% de su peso) del pulpo ha generado un incremento en la demanda hasta del 42% en menos de 10 años (1990-1999) (Hernández-López, 2000). Las principales pesquerías de este recurso se concentran en las costas de Japón, Mar Mediterráneo y África (Ambrose, 1988), siendo *Octopus vulgaris* la especie de mayor captura a nivel mundial (~550 mil t en 1999) (Boyle y Rodhouse, 2005).

En México el 90% de la pesquería de pulpo proviene de la península de Yucatán la cual se compone principalmente por *O. maya* alcanzando hasta 16,000 t anuales (Avila-Poveda *et al.*, 2009). El otro 10% se captura en el Pacífico mexicano donde se reportan nueve especies de pulpo, *Octopus bimaculatus*, *O. chierchia*, *O. digueti*, *O. alecto*, *O. fitchi*, *O. hubbsorum*, *O. penicifiller*, *O. rubescens* y *O. veligero* (López-Uriarte *et al.*, 2005). De estas, *O. hubbsorum* es la especie más común y de acuerdo a comentarios de los pescadores es la más capturada desde hace más de 20 años (Aguilar y Godínez-Domínguez, 1995; López-Uriarte *et al.*, 2005). En Baja California Sur, la pesca de pulpo se ha registrado por 10 años (1996-2006) alcanzando capturas de hasta 300 toneladas al año (SAGARPA, 2006) (Fig.1).

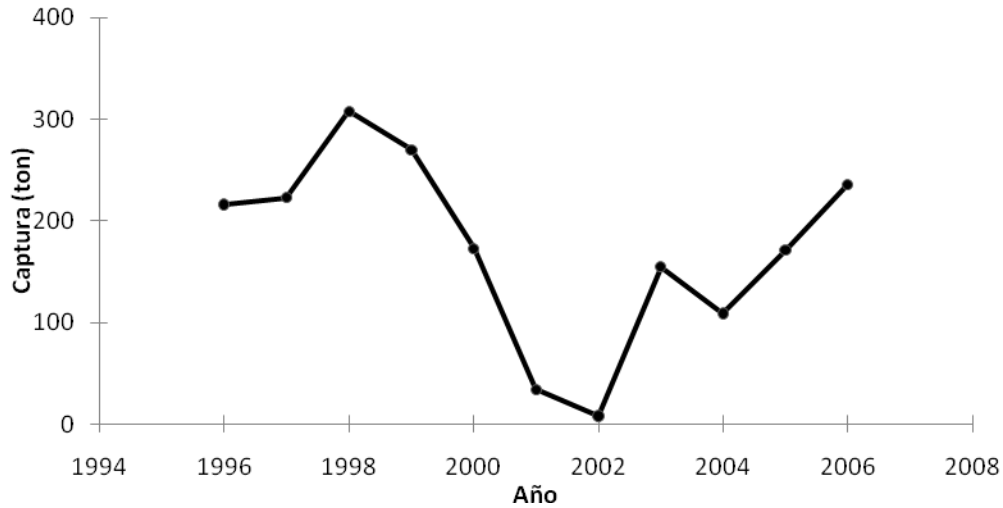


Figura 1. Captura anual de la pesquería de pulpo en Baja California Sur (SAGARPA, 2006).

Para entender la dinámica de la población de una especie y asegurar el desarrollo ecológico sostenible de las industrias pesqueras, es fundamental tener una comprensión de la biología reproductiva de la especie que es investigada (Leporati *et al.*, 2008). Los cefalópodos presentan diversas estrategias reproductivas, los hay desde los semélparos como las especies del género *Octopus* (condición más común), hasta los completamente iteróparos como *Nautilus* (Cortez *et al.*, 1995; Rocha *et al.*, 2001). La mayoría de los pulpos crecen rápidamente, su ciclo de vida es relativamente corto (1-2 años) (Ambrose, 1988). Durante este tiempo la reproducción está influenciada por factores abióticos, como la temperatura, y bióticos como el gasto energético durante el evento reproductivo (Rocha *et al.*, 2001).

El presente trabajo describe la reproducción de *O. hubbsorum* Berry, 1953 en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México, la cual es una zona donde la pesquería se lleva a cabo todo el año y donde no se había registrado anteriormente la especie. En este estudio se relacionaron distintos índices morfofisiológicos, la temperatura y las fases de desarrollo gonadal, así como la descripción de la ovogénesis a través del año.

II. Antecedentes

2.1 Generalidades

Durante las últimas décadas, diversos estudios sobre octópodos han sido realizados: alimentación, pesquería y aspectos reproductivos, principalmente. Posiblemente uno de los trabajos más significativos ha sido el de Guerra (1975), quien determinó la fases de desarrollo sexual para *O. vulgaris* proponiendo un índice de madurez. Trabajos posteriores, en otras especies de pulpo y países, han relacionado estas fases con otros aspectos biológicos, tales como: talla-peso, el peso de los diferentes órganos del sistema reproductivo (machos y hembras), temperatura (estacionalidad), glándula digestiva (ciclo reproductivo-alimentación) entre otros índices diversos (Cortez *et al.*, 1995; Hernández-García *et al.*, 2002; Quetglas *et al.*, 2005; Rodríguez-Rúa *et al.*, 2005).

2.2 Diagnósis de la especie

Octopus hubbsorum Berry, 1953 presenta cuerpo de tamaño moderado, redondeado, la cabeza es ovalada de aproximadamente la mitad de la longitud del cuerpo, limitada por una constricción nuchal o cuello. Presenta ojos grandes pero no demasiado prominentes, con párpados bastante arrugados. Sifón robusto. Brazos siempre fuertes y bien retraídos en preservación; muy gruesos en la parte proximal, disminuyendo rápidamente hacia la porción distal. La longitud de los brazos puede ser hasta cuatro veces mayor que la longitud del manto; la fórmula a veces poco constante pero el par de brazos dorsal son notablemente más cortos; Los brazos laterales (ambos lados) son más gruesos y largos. Ventosas grandes, especialmente sobre los brazos laterales, poco elevadas, exageradamente juntas hacia la porción distal; bordes estriados en las ventosas (vista superior). El tercer brazo derecho en los machos es casi un quinto más corto que el de su compañero. Pliegue copulador angosto con terminación cónica diminuta en el calamus. La lígula también es diminuta pero engrosada, mide aproximadamente 1.4% de la longitud del brazo, con gruesos o hinchados márgenes crenulados en las caras cercanas al calamus. El canal es visible pero con escasas ranuras transversales. La arrugas excepto por aquellas que se encuentran arriba de los ojos,

se encuentran oscurecidas por granulaciones del tegumento. La coloración del organismo en preservación es de gris medio a oscuro, verde, púrpura, marrón y negro, muy oscuro por encima y un marrón más ligero en la parte ventral oral (Berry, 1953). *O. hubbsorum* es una especie relativamente grande que puede alcanzar hasta 3 kg de peso en su edad máxima (López-Uriarte *et al.*, 2005). Hasta el momento la única descripción de un juvenil de esta especie fue realizada por Hernández-González (2006) utilizando la distribución de cromatóforos, además de reportar un desfase de un mes entre la maduración de las hembras y la aparición de dichos juveniles (Fig. 2).

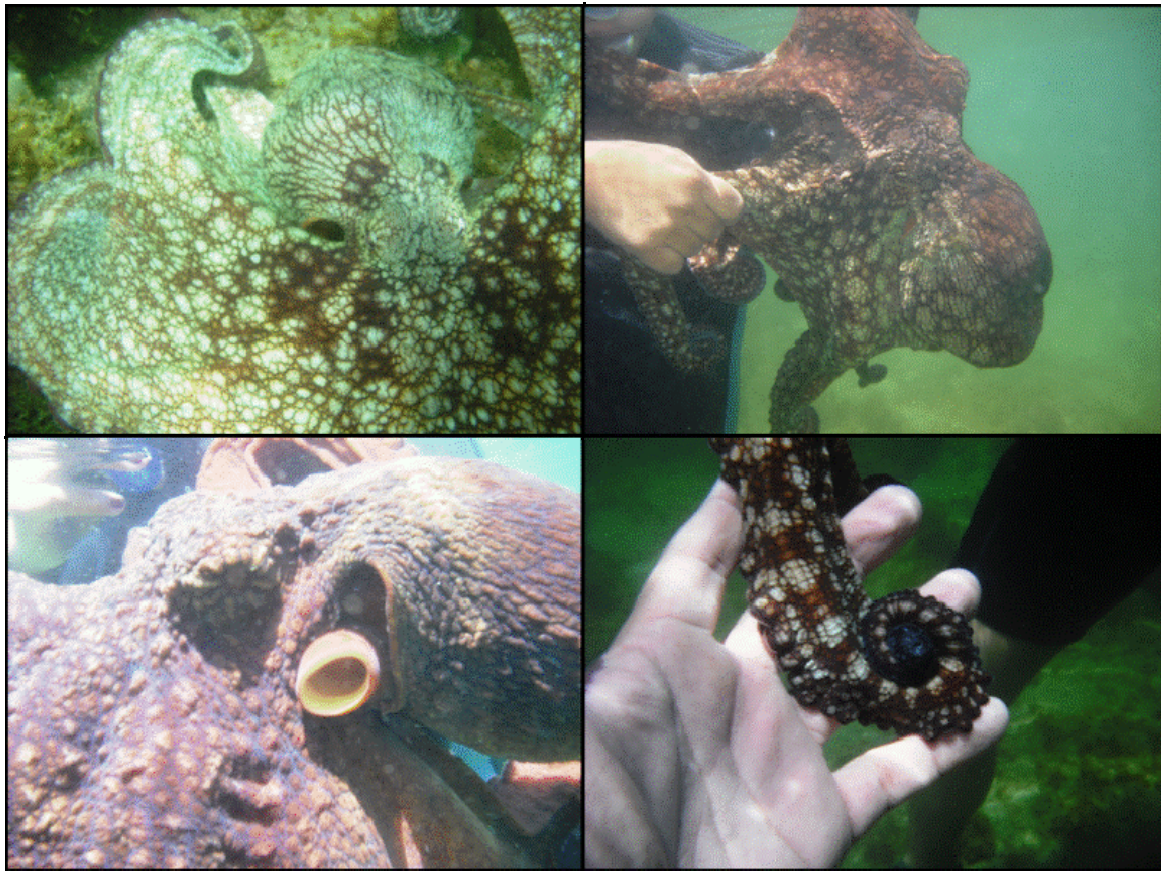


Figura 2. Fotografías *in situ* de *O. hubbsorum* tomadas en Bahía Magdalena B.C.S, México. Foto: © Francisco Domínguez Contreras.

2.3 Distribución y hábitat

Octopus hubbsorum se distribuye continuamente en el Pacífico Mexicano por más de 2500 km de línea de costa, abarcando desde Puerto San Carlos en Sonora hasta Salina Cruz en Oaxaca, además de 700 km de línea de costa desde Bahía de los Ángeles hasta Cabo San Lucas en el Golfo de California y recientemente registrada en Bahía Magdalena en la costa occidental de la península de Baja California (presente estudio). Posiblemente *O. hubbsorum* tenga una distribución más allá de las costas de Chiapas y hasta Centro América, sin embargo no existen datos que apoyen esta información. Esta especie es comúnmente encontrada en sustratos rocosos, oculta entre grietas durante el día y es poco común encontrarla en la zona intermareal (Aguilar y Godínez-Domínguez, 1995; López-Uriarte *et al.*, 2005). Sin embargo, cuando la temperatura superficial del mar se incrementa, las hembras de *O. hubbsorum* migran hacia aguas someras de la plataforma continental con el fin de desovar, seguidas de los machos en busca de condiciones más favorables y donde también son más susceptibles a la pesca (López-Uriarte y Ríos-Jara, 2009).

2.4 Pesquería

Los registros pesqueros de pulpo en el Pacífico Mexicano datan de finales de los años 70 siendo *O. hubbsorum* la principal especie que soporta dicha pesquería, la cual es considerada como artesanal o de subsistencia y alcanza hasta 600 toneladas anuales tan solo en las costas de Jalisco, aunque la pesca se realiza todo el año, principalmente, en los meses de abril a septiembre la captura se incrementa. El método de captura de pulpo en el Pacífico Mexicano es por medio de buceo autónomo y con gancho (Alejo-Plata *et al.*, 2009; López-Uriarte *et al.*, 2005), aunque este arte de pesca está prohibido, aun es utilizado (NOM-008-PESC-1993). La utilización de ganchos, figas o arpones en la captura-escape de *O. hubbsorum* causa lesiones o traumas en brazos y manto dando como resultado una fibrosis muscular entre la epidermis y el tejido muscular la cual puede llegar a ser fatal, aunque esta fibrosis también pueden ser ocasionadas por virus, bacterias o parásitos (Pascual *et al.*, 2006).

2.5 Reproducción

Octopus hubbsorum es considerada como una especie que desova a lo largo del año encontrando al menos una mínima proporción de la población en estadio maduro (López-Uriarte, 2006), esta población presenta una proporción sexual diferente 1:1 generalmente sesgada hacia los machos y alcanza la madurez en hembras a los 115 mm de longitud de manto dorsal con un peso total aproximado de 758 g, mientras que los machos a los 70 mm de LMD con 320 g. Para esta especie se han determinado tres o cuatro (según autor) estadios de maduración para hembras (madurando, madurez y desovando) y tres para machos (inmaduros, madurando y madurez) los cuales se alcanzan en los meses de julio a noviembre, con desoves de enero a junio, cuando la temperatura del mar se incrementa (22.8 – 26.6 °C) (Bravo-Olivas, 2008; López-Uriarte y Ríos-Jara, 2009; Pliego-Cárdenas *et al.*, 2011). Otros estudios realizados en la costas de Sinaloa mencionan que la época reproductiva de esta especie de acuerdo al índice de madurez es de enero a junio con máximos en abril y junio (Leyva-Villarreal *et al.*, 1987; González-Rendón *et al.*, 1990).

Las hembras de *O. hubbsorum* incuban sus huevos en una madriguera y posteriormente eclosionan paralarvas de vida plantónica que después se asientan en el fondo, generalmente rocoso. Los huevos aparentan un racimo de uvas y tienen cuidado parental, durante este tiempo la hembra deja de alimentarse y posterior a la eclosión, esta perece (Brusca, 1980). Se ha reportado que la fecundidad media de esta especie en las costas de Jalisco es de $172,046 \pm 85,146$ ovocitos (López-Uriarte y Ríos-Jara, 2009), mientras que en la Bahía de la Paz, B.C.S es de $205,144 \pm 67,207$ ovocitos (Pliego-Cárdenas *et al.*, 2011). El diámetro mayor de los ovocitos maduros oscila entre 1.55 y 2.4 mm, con un valor promedio de 1.79 ± 0.14 mm, por lo que se considera una especie con ovocitos pequeños (López-Uriarte y Ríos-Jara, 2009).

Para el caso de los machos la fecundidad media reportada en la costa de Jalisco es de 65.92 ± 34.34 espermátóforos por individuo (López-Uriarte y Ríos-Jara, 2009). Esta cantidad varía de acuerdo a la época del año, incrementándose durante la época templado-seca, cuando los picos de la temporada reproductiva es evidente (López-Uriarte y Ríos-Jara, 2009). Sin embargo, se encuentran organismos maduros a través de todo el año (Pliego-Cárdenas, *et al.*, 2011). Los machos al igual que las hembras perecen después de la temporada reproductiva (Brusca, 1980).

En el Pacífico Mexicano existen pocos trabajos relacionados a las especies de pulpo, en su mayoría son enfocados a la pesquería, distribución, abundancia, estacionalidad y escasamente a la reproducción y ciclos de vida. A continuación se muestran todos los trabajos realizados en esta área.

Los trabajos pioneros sobre especies de *Octopus spp.* fueron realizados en las costas de Sinaloa enfocados principalmente en las artes de pesca y abundancia de *O. vulgaris* (Gonzales-Rendón *et al.*, 1990), pesquería y rango de distribución de *O. hubbsorum* (Aguilar y Godínez-Domínguez, 1995; Alejo-Plata *et al.*, 2002; López-Uriarte *et al.*, 2005), determinación de tallas, proporción de sexos y grupos de edad para *O. bimaculatus* en las costas de Guerrero (Armenta-Camacho *et al.*, 1992; Rodríguez-Mata, 1996).

Recientemente se describió la reproducción y alimentación de *O. bimaculatus* en Bahía de los Ángeles (Golfo de California) determinando un periodo de desove para hembras de junio a septiembre con machos maduros presentes todo el año (Castellanos-Martínez, 2008). Se observó que durante la fase de desarrollo de las hembras y de madurez de los machos, la ingesta de alimento se incrementa, consumiendo principalmente cangrejos xanthoideos durante la primavera, lo que supone una contribución significativa a la acumulación de reservas (Armendáriz-Villegas, 2008).

III. Justificación

Octopus hubbsorum es la principal especie de captura en el Pacífico mexicano, y Bahía Magdalena no es la excepción. Sin embargo, existe poca información biológica y ecológica, respecto a la especie; por lo que determinar su temporada reproductiva es un aspecto fundamental para poder optimizar su sustentabilidad.

Hasta el momento los aspectos reproductivos de *O. hubbsorum* (Bravo-Olivas, 2008; López-Urriarte y Ríos-Jara, 2009; Alejo-Plata *et al.*, 2009; Pliego-Cárdenas *et al.*, 2011) se han descrito de acuerdo a fases de madurez propuestas para *O. vulgaris* (Guerra, 1975; Rodríguez-Rúa *et al.*, 2005) y *O. mimus* (Cortez *et al.*, 1995). Sin embargo, la ovogénesis y los procesos que ocurren durante ésta, como la formación de pliegues foliculares y la producción de vitelo dentro del ovocito, aún no han sido estudiados. Este tipo de estudios, permiten observar eventos de gran importancia durante el proceso de maduración de la gónada, como lo son: la diferenciación entre una madurez fisiológica y una madurez funcional (Arkhipkin, 1992), definir con precisión el patrón de desarrollo del ovario (Rocha *et al.*, 2001), y ayudan a explicar las variaciones obtenidas en los índices morfofisiológicos. Por lo tanto, los eventos involucrados durante la maduración de la gónada, definen ciclos reproductivos más exactos y permiten proponer una manera distinta y eficaz de evaluar la situación reproductiva intra e interespecífica del recurso pulpo, en uno o en diferentes tipos de hábitat con diversos parámetros ambientales.

IV. Objetivos

4.1 Objetivo General

Conocer y determinar las principales características reproductivas de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena, B.C.S., México.

4.2 Objetivos particulares

- Describir las fases de desarrollo gonádico y madurez funcional de *O. hubbsorum*
- Identificar el patrón de desarrollo del ovario de *O. hubbsorum*
- Determinar el ciclo reproductivo de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena.
- Determinar la talla de madurez en hembras de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena.
- Determinar la proporción sexual de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena.
- Determinar la relación talla-peso por sexo de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena.
- Identificar la influencia de la temperatura en la reproducción de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena.
- Identificar las cohortes poblacionales de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena.

V. Área de estudio

El complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas se localiza en la costa suroccidental de la península de Baja California Sur ($24^{\circ} 16' N$ y $25^{\circ} 45' N$ y $111^{\circ} 20' W$ y $112^{\circ} 18' W$) (Fig. 3). Bahía Magdalena esta comunicada con el Océano Pacífico, a través de una boca de 5.6 km de ancho, con una profundidad máxima de 40 m, ubicada entre Punta Entrada (Isla Magdalena) y Punta Redonda (Isla Margarita). A partir de la boca se extiende un canal de navegación con profundidades de entre 15 y 30 m que comunica con Puerto San Carlos. La parte central de la bahía tiene una profundidad de entre 15 y 20 m. Bahía Magdalena es una zona que se encuentra rodeada por manglar, con excepción de Isla Magdalena e Isla Margarita, donde las formaciones rocosas de origen volcánico son predominantes y donde se desarrolla una fauna demersal diversa (Sedlock, 2003).

En Bahía Magdalena las altas temperaturas que ocurren durante agosto y septiembre están normalmente asociadas a la influencia anual de la zona subtropical, mientras que las temperaturas frías que se presentan durante enero y febrero pueden asociarse a la advección de la Corriente de California o a las intensas surgencias que ocurren en ese periodo. Bahía Magdalena presenta una temperatura promedio anual de $22.4^{\circ}C$. Es evidente que las más altas están asociadas al interior de los cuerpos lagunares, en tanto que las temperaturas frías se encuentran predominantemente en las bocas. En promedio el sistema lagunar tiene una temperatura superior de casi un grado ($0.89^{\circ}C$) anualmente y de $3.7^{\circ}C$ en julio, en comparación con las temperaturas promedios que se encuentran fuera del complejo lagunar (Lluch-Belda *et al.*, 2000).

El complejo tiene una tasa reducida de precipitación y escasa afluencia de agua dulce, así como una elevada tasa de evaporación, lo que genera condiciones anti-estuarinas (Funes-Rodríguez *et al.*, 2007). Los vientos predominantes son del Noroeste-Sureste, y son los principales responsables de los eventos de surgencia costera que se presentan durante todo el año, pero con mayor intensidad entre febrero y mayo, mientras que los vientos del sur persisten usualmente entre julio y septiembre.

El área cercana a la boca de comunicación con el Océano Pacífico se caracteriza por presentar altas concentraciones de nutrientes, baja temperatura, baja salinidad y menores

concentraciones de oxígeno disuelto y pH (Gómez-Gutiérrez y Robinson, 2006). Un patrón similar se observa en la cantidad de partículas suspendidas, con menor transparencia del agua en la zonas someras, donde ocurre la mayor concentración de material particulado (Aguirre-Behena *et al.*, 2002) y donde la pesca de pulpo se lleva a cabo.

La hidrografía de Bahía Magdalena es conocida por su alta productividad que prevalece durante la mayor parte del ciclo anual, donde el material disuelto o en suspensión, la concentración de nutrientes, poblaciones de larvas, parches de fitoplancton, entre otros, son de gran importancia en la distribución y los procesos de mezcla. El intercambio de masas entre los diferentes cuerpos del sistema y los efectos que ejerce la marea en la circulación hidrodinámica y la estructura termohalina en el interior del sistema lagunar, aportan la base física del conocimiento que se requiere para entender las posibles interacciones entre los organismos y el ambiente donde se desarrollan (Sánchez-Montante *et al.*, 2004).

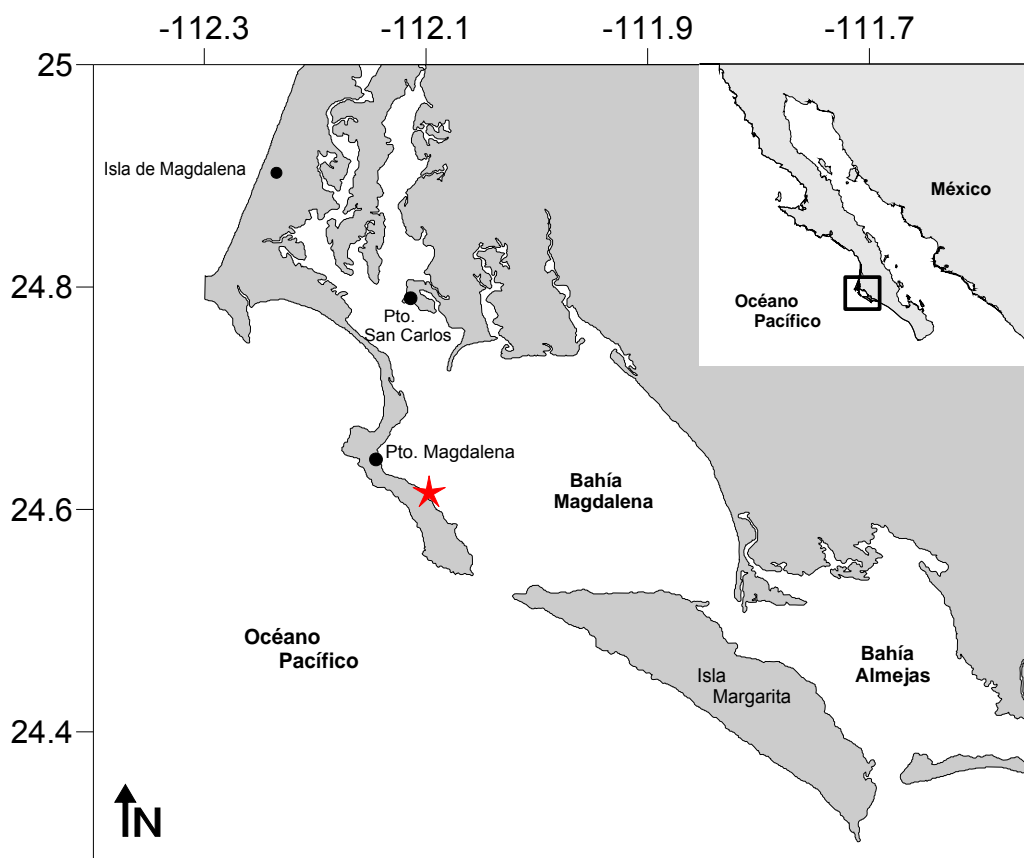


Figura 3. Complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas ubicada en la costa sur-occidental de la península de Baja California, México. La estrella indica la zona de muestreo.

VI. Material y métodos

6.1 Obtención de muestras

Se realizaron salidas mensuales durante un año (noviembre 2008-2009) a Bahía Magdalena, B.C.S, México. La obtención de organismos de *O. hubbsorum* se llevó a cabo frente a Isla Magdalena, en el Puerto de Magdalena cubriendo una extensión de aproximadamente 8.9 km de línea de costa y a una profundidad máxima de 5 m. Se obtuvieron un máximo de 30 pulpos, por medio de buceo libre y con gancho. Durante la obtención de los pulpos se registró la temperatura de fondo con un termómetro de cubeta. Todos los organismos fueron revisados e identificados hasta especie utilizando las claves taxonómicas propuestas por Hochberg (1980), Roper *et al.* (1995) y la descripción original de Berry (1953) quien asignó el nombre de la especie (*O. hubbsorum*), el cual continúa sin modificación alguna (Norman y Hochberg, 2005). Además, se enviaron especímenes a F. G. Hochberg (curador del Santa Barbara Museum of Natural History) quien confirmó la especie.

6.2 Trabajo en laboratorio

Las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Invertebrados Marinos del Centro Interdisciplinarios de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN) donde se registraron la longitud total (LT), la longitud del manto dorsal (LMD), considerada desde el extremo del manto hasta la línea media de los ojos (Fig. 4) (precisión ± 1 mm) y el peso total (PT) (precisión ± 0.1 g). Por medio de disección se determinó el sexo examinando visualmente el aparato reproductor. A cada organismo se le extrajeron la gónada, la glándula oviductal y los oviductos para el caso de las hembras, y para el caso de los machos el testículo y el complejo de Needham, así como la glándula digestiva en ambos sexos. Todos los órganos fueron fijados en formol al 10%, al menos por 48 hrs. Posteriormente, los órganos fueron lavados para eliminar el exceso de formol, se pesaron independientemente (precisión ± 0.0001 g) y se preservaron en alcohol al 70%, para su posterior análisis histológico.

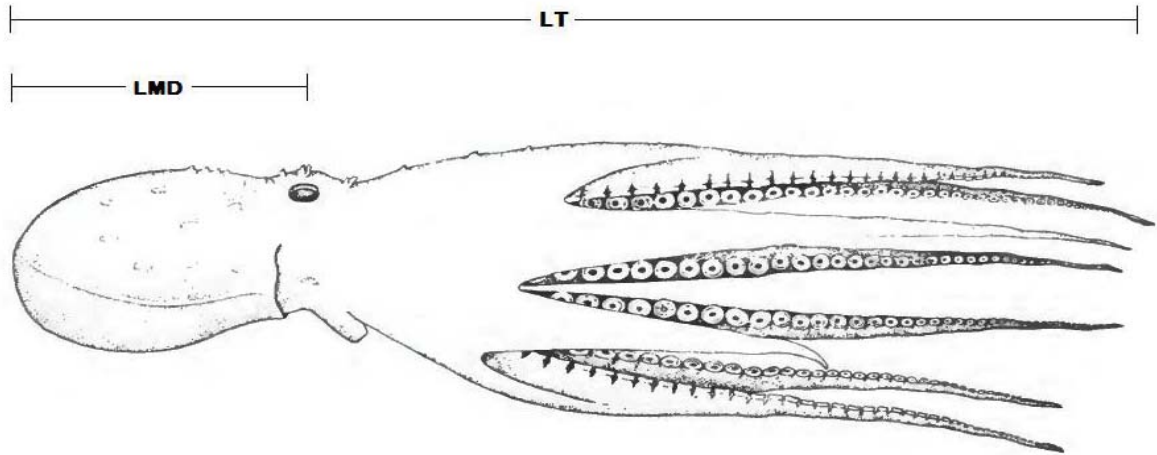


Figura 4. Medidas de la longitud total (LT) y del manto dorsal (LMD) de *Octopus sp.*

6.3 Proporción sexual

La proporción sexual se calculó anual y mensualmente. Para ver si la razón fue 1:1 se aplicó la prueba χ^2 o de corrección de continuidad de Yates, la cual se utiliza sólo cuando se tienen dos categorías, machos y hembras (un grado de libertad). Si no se utiliza esta corrección, el valor de χ^2 se incrementa demasiado causando el rechazo de H_0 (Zar, 1974). Por lo tanto, la prueba χ^2 se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\chi_c^2 = \sum_{i=1}^2 \frac{\left(\left| f_i - \hat{f}_i \right| - 0.5 \right)^2}{\hat{f}_i}$$

donde, f_i es la proporción de hembras o de machos observada y \hat{f}_i la proporción de hembras o machos esperada. Los valores entre $|f|$ son valores absolutos reducidos ignorando el signo (+ -) (Zar, 1974).

6.4 Actividad reproductiva

6.4.1 Desarrollo gonádico

De las muestras de gónada fijadas en formol al 10% se extrajo aproximadamente 1cm³ de tejido, el cual fue deshidratado en una serie de alcohol etílico de concentración ascendente para una posterior transparentación con Hemo De[®] e inclusión en un medio compuesto de parafina y polímeros plásticos (Paraplast Xtra[®]). Los cortes histológicos se hicieron a un grosor de 7 µm y se tiñeron por medio de la técnica hematoxilina-eosina (Humason, 1979). Se realizaron cortes transversales (por el centro) de la gónada (machos y hembras) desde una vista dorsal. En el caso de las hembras, cuando la gónada fue demasiado grande se extrajeron cinco cortes de la gónada en la misma ubicación (Ls, Li, Td, Ti y C) (Fig. 5), con la finalidad de observar si el desarrollo de la gónada es homogéneo.

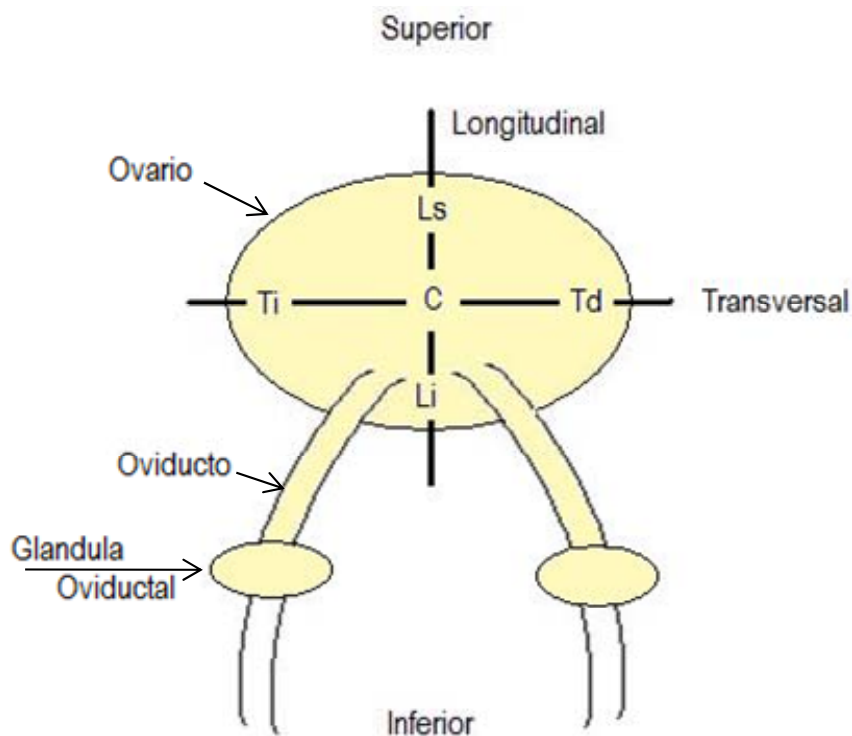


Figura 5. Vista dorsal del sistema reproductivo de *Octopus sp.* mostrando la ubicación de los cortes longitudinales, transversal y de los cinco cortes propuestos para gónadas grandes: Ls= Longitudinal superior, Li= Longitudinal inferior, Td= Transversal derecho, Ti= Transversal izquierdo y C=Centro.

El análisis proceso de maduración de *O. hubbsorum* se realizó por medio de observación histológica y descripción citológica. Se definieron estadios para cada tipo de célula y se asignaron fases de desarrollo en base a la proporción de estadios celulares.

Se determinaron los estadios de ovocitos a partir de las características celulares (ovogénesis) propuestas por Baeg *et al.* (1993) para *L. bleekeri* y de Olivares-Paz *et al.* (2001) para *O. mimus* (Anexo I). Después se calculó el promedio de la frecuencia de cada uno de los estadios de ovocitos, el cual se obtuvo de tres zonas observadas en cada corte histológico. Dichas proporciones se usaron como uno de los criterios para la asignación de las fases de desarrollo.

La identificación y descripción de las fases de desarrollo gonádico de hembras se realizó por medio de microscopia óptica, considerando las características de las fases de desarrollo propuestas por Baeg *et al.* (1993) para *L. bleekeri*, Laptikhovsky y Arkhipkin (2001) para *L. gahi*, Olivares-Paz *et al.* (2001) para *O. mimus* y Rodríguez-Rúa *et al.* (2005) para *O. vulgaris*, así como las propias. La Fase VI no está señalada en las publicaciones anteriores, salvo en Olivares-Paz *et al.* (2001) y ésta es definida como el Post-desove (Fig. 6).

La ventaja de utilizar los estadios de ovocitos y su proporción en la gónada, además de la identificación y descripción, es la de poder determinar el inicio de la vitelogénesis, la cual indica el inicio de la madurez funcional, que se refiere al proceso de inicio de la foliculogénesis, principalmente cuando se han dado las condiciones ambientales adecuadas (Baeg *et al.*, 1993; Laptikhovsky y Arkhipkin, 2001; Olivares-Paz *et al.*, 2001). También tiene la ventaja de determinar el tipo de desarrollo gonadal.

En el caso de los machos se utilizó la descripción y determinación de las fases de desarrollo propuestas por Rodríguez-Rúa *et al.* (2005) para *O. vulgaris*: Inmaduro, Desarrollo, Madurez y Espermiación.

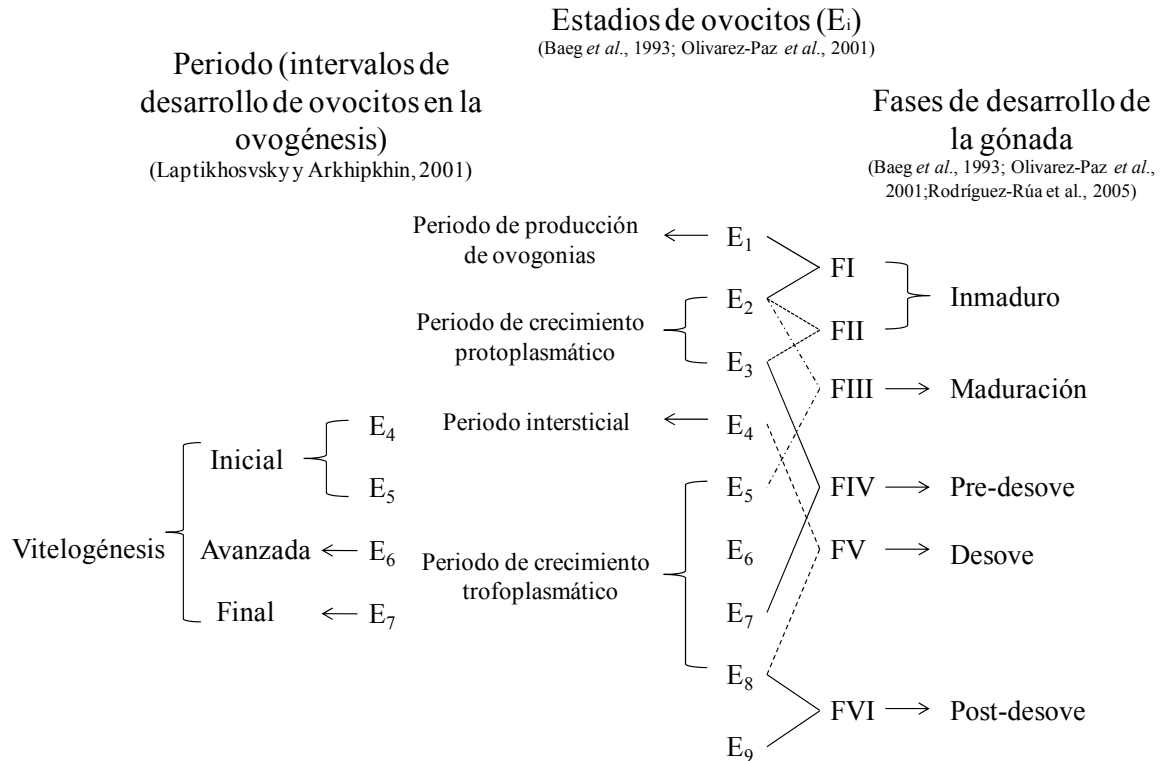


Figura 6. Compendio obtenido de cuatro publicaciones para la determinación de fases de desarrollo gonadal y vitelogénesis (madurez funcional) a partir de la proporción de estadios de ovocitos.

6.4.2 Ciclo y época reproductiva

Para la determinación del ciclo reproductivo se calculó la frecuencia mensual de cada fase gonádica. La época reproductiva de hembras se consideró cuando se presentaron las fases de maduración (FIII), pre-desove (FIV) y desove (FV) (Fig. 6) y en el caso de los machos las fases de madurez y espermiación.

6.4.3 Diámetro de los ovocitos

El crecimiento de los ovocitos se evaluó a partir del cálculo del diámetro (DO) promedio obtenido de tres áreas determinadas aleatoriamente de imágenes digitales obtenidas a partir de cada corte histológico. El diámetro se obtuvo calculando el área de los ovocitos con la ayuda del programa Sigma Scan Pro (versión 5.0, Systat Software, Inc., Richmon, C.A., EUA.) (Castellanos-Martínez, 2008), utilizando la formula siguiente:

$$d = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

donde d es el diámetro del ovocito, A el área del ovocito y π la constante pi (3.1416). Solo fueron consideradas las áreas cuando el corte atravesó por el núcleo del ovocito de acuerdo con Grant y Tyler (1983). Debido a que el desarrollo del ovocito en pulpos no es esférico sino cilíndrico, también se consideraron aquellos ovocitos que presentaran cuatro o más pliegues foliculares, los cuales solo se pueden observar transversalmente, esto fue con la finalidad de obtener mayor número de mediciones en ovocitos con un estado de madurez más avanzado al de aquellos que son medidos solo cuando el núcleo es evidente.

6.5 Índices morfofisiológicos

6.5.1 Índice gonadosomático

El índice gonadosomático (IGS) propuesto por Silva *et al.* (2004), se utilizó como medida de la madurez gonádica:

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

donde el IGS es el peso relativo de la gónada, el cual es considerado como una medida del progreso hacia la madurez sexual (Boyle y Rodhouse, 2005), PG es el peso de la gónada (ovario o testículo) y PT es el peso total del organismo.

6.5.2 Índice de madurez

Adicionalmente, como otra medida de la madurez gonádica se utilizó el índice de madurez (IM). Éste relaciona los pesos de la gónada y de las estructuras asociadas. El IM en machos aumenta conforme transcurre el desarrollo gonádico, debido a que el complejo de Needham incrementa su tamaño conforme acumula espermátóforos mientras que el

incremento en peso del testículo no es considerable, mientras que en las hembras disminuye debido a que los ovarios incrementan su peso hasta 50 veces más, conforme se acercan a la etapa de madurez, con respecto al de los oviductos y sus glándulas (Guerra, 1975). La relación se calcula de la siguiente manera:

$$\begin{array}{ll} \text{Machos} & \text{Hembras} \\ IM = \frac{PN}{PN + PG} & IM = \frac{Povd}{Pov + Povd} \end{array}$$

donde PG representa el peso del testículo y PN el del complejo de la bolsa de Needham; Pov es el peso del ovario y $Povd$ el de los oviductos y sus glándulas.

Debido a la maduración precoz de los machos y su capacidad de fecundar varias hembras (Avila-Poveda *et al.*, 2009), se contó el número de espermátóforos presentes en el saco de Needham de cada macho, como una medida de potencial reproductivo (Hernández-García *et al.*, 2002).

6.5.3 Índice de la glándula oviductal

El índice de la glándula oviductal (IGO) se utilizó con la finalidad de observar si el diámetro de la glándula se incrementa conforme avanza el proceso de maduración (Silva *et al.*, 2004), la relación se calcula de la siguiente manera:

$$IGO = \left(\frac{Dgov}{LMD} \right) \times 100$$

donde $Dgov$ es el diámetro de la glándula oviductal y LMD es la longitud del manto dorsal.

6.5.4 Índice de la glándula digestiva

El índice de la glándula digestiva (IGD) se utilizó para analizar en qué condición fisiológica se encontraban los organismos durante el desarrollo gonádico (Cortez *et al.*,

1995) ya que la digestión y absorción se lleva cabo en este órgano (Boyle y Rodhouse, 2005) y una disminución de su peso podría indicar una transferencia de sustratos metabólicos hacia la gónada para soportar la gametogénesis. La relación se calcula de la siguiente manera:

$$IGD = \frac{(PGD \times 100)}{(PT - PGD)}$$

donde PGD es el peso de la glándula digestiva y PT es el peso total del organismo.

6.6 Relación de la temperatura con el ciclo reproductivo

Se realizó una correlación de rangos de Spearman (Dowdy y Wearden, 1991) entre las variables biológicas (IGS, IM, IGD, IGO, el diámetro de ovocitos y el número de espermatozoides) y la temperatura del agua, para machos y hembras.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

donde d_i es la diferencia entre rangos x-y: $d_i = \text{Rango de } X_i - \text{rango de } Y_i$ donde X, Y son las muestras a probar en la correlación y n es el tamaño de la muestra.

6.7 Frecuencia de tallas y pesos

Se hicieron tablas de frecuencias de talla con intervalos de 20 mm de LMD y con intervalos de 80 mm de LT, así como intervalos de 300 g de PT. Para ver la composición de tallas mensual se utilizó la LMD, ya que la LT, presenta constante variación debido al crecimiento de los brazos (Avila-Poveda *et al.*, 2009).

6.8 Relación talla-peso

La relación talla-peso se calculó utilizando la función potencial $Y = aX^b$ donde Y es el peso total (PT), a y b son constantes y X es la talla (LMD o LT). Se realizó un análisis de la suma de cuadrados residuales (ARSS por sus siglas en inglés ó ARSS de Ratkowsky) (Chen *et al.*, 1992) para comparar la función no lineal ($Y = aX^b$) entre sexos. El procedimiento es el siguiente: (1) la suma de cuadrados residuales (RSS) y un grado de libertad asociado (DF) de $Y = aX^b$, fueron calculados para cada muestra, (2) los resultantes de RSS y DF de cada muestra fueron agregados a la producción sumada RSS y DF, (3) los datos de ambas muestras fueron combinados para calcular el RSS y DF del total de $Y = aX^b$ y (4) el estadístico F fue calculado como:

$$F = \frac{\frac{RSS_P - RSS_S}{DF_{RSS_P} - DF_{RSS_S}}}{\frac{RSS_S}{DF_{RSS_S}}} = \frac{\frac{RSS_P - RSS_S}{2 \cdot (K - 1)}}{\frac{RSS_S}{N - 2 \cdot K}}$$

donde RSS_P = RSS combinado de $Y = aX^b$ (un ajuste para datos de ambos sexos), RSS_S = es la suma de cuadrados residuales obtenidos independientemente de cada ajuste de $Y = aX^b$ (RSS de machos + RSS de hembras), N = número total de la muestra y K = número de muestras en comparación. El número 2 se refiere al número de parámetros de la ecuación $Y = aX^b$, constantes a y b (Chen *et al.*, 1992).

6.9 Talla y peso de madurez

Para determinar la talla y peso de madurez en hembras, se utilizó el modelo de ajuste logístico, $y = a/(1+b \times \exp^{-cx})$ tomando en cuenta la frecuencia relativa acumulada de individuos sexualmente maduros en intervalos de 15 mm de LMD y 190 g de PT. Mediante el modelo se calculó la talla y peso en la que el 50% de la población de pulpos está madura (Rodríguez-Rúa *et al.*, 2005).

En este estudio se utilizó la longitud del manto dorsal y no la longitud total, pues se ha reportado en otras especies como *O. briareus* y *O. maya* que los brazos crecen mucho más rápido con respecto a otras partes del cuerpo (Hanlon, 1983; Avila-Poveda *et al.*, 2009). En este estudio no se determinó la talla de madurez en machos debido a la precocidad de los mismos (Avila-Poveda *et al.*, 2009).

6.10 Análisis estadísticos

Para determinar si existe una estacionalidad en la actividad reproductiva se analizó la variación de los índices morfofisiológicos (IGS, IM), el diámetro de los ovocitos; también se analizó la variación del IGD mediante un análisis de varianza de una vía y cuando ésta fue significativa se aplicó una prueba *a posteriori* de Tukey para la comparación de medias. La condición de los organismos por fase de madurez se analizó por medio de un análisis de Kruskal-Wallis. Los datos que no siguieron una distribución normal fueron transformados previamente mediante una transformación angular (Zar, 1974) como sigue:

$$p' = \arcsin \sqrt{p}$$

donde p' es el valor transformado (en radianes), \arcsin es el arcoseno del ángulo de interés (entre 1 y -1) y p es el valor original de los índices.

6.11 Análisis de progresión modal

Para determinar si existe una alternancia de generaciones, las modas de las distribuciones de tallas fueron determinadas a través del análisis de frecuencias de la longitud del manto dorsal (intervalos de 15 mm). Se utilizó una distribución multinomial de acuerdo a la función de densidad (Haddon, 2001):

$$P\{x_i | n, p_1, p_2, \dots, p_k\} = n! \prod_{i=1}^k \frac{p_i^{x_i}}{x_i!} \quad (1)$$

donde x_i es el número de veces que un evento tipo i sucede en n muestras y p_i son las probabilidades separadas de cada uno de los eventos tipo k posibles. Para la estimación de los parámetros del modelo, es necesario transformar la ecuación anterior (1) en la expresión de verosimilitud:

$$-\ln L\{x_i|n, p_1, p_2, \dots, p_k\} = \sum_{i=1}^k [x_i \ln(p_i)] \quad (2)$$

El principal supuesto para la estimación de los parámetros, es que la distribución de tallas para cada longitud media o modal puede ser analizada con una distribución normal (ecuación 3), determinando que cada moda corresponde a diferente cohorte en la población. Bajo esta condición, las estimaciones de las proporciones relativas esperadas de cada categoría de longitud (k) para cada intervalo de talla n , se describieron a partir de la siguiente función de densidad:

$$p_{L_k} = \frac{1}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{(L_k - \mu_n)^2}{2\sigma_n^2}} \quad (3)$$

donde μ_a y σ_a son la media y la desviación estándar de la longitud del manto dorsal de cada cohorte a . De tal forma que para estimar las frecuencias esperadas y estimar los parámetros del modelo, es necesario contrastar los valores estimados y observados mediante la función logarítmica de la distribución multinomial (Haddon, 2001):

$$-\ln L\{L|\mu_n, \sigma_n\} = -\sum_{i=1}^k \ln(\hat{p}_i) = -\sum_{i=1}^k L_i \ln\left(\frac{\hat{L}_i}{\sum \hat{L}_i}\right) \quad (4)$$

En esta expresión los parámetros μ_n y σ_n corresponden a las medias y las desviaciones estándar de la longitud del manto dorsal que corresponden a las n medias presentes en la distribución de longitudes de cada mes. Los parámetros fueron estimados cuando la función negativa logarítmica de verosimilitud (ecuación 4) fue minimizada con el algoritmo de búsqueda directa de Newton (función SOLVER en el programa Microsoft Office Excel) (Haddon, 2001).

VII. Resultados

7.1 Proporción sexual

Un total de 300 organismos fueron obtenidos de noviembre de 2008 a noviembre de 2009, de los cuales 151 corresponden a machos (50.33%) y 149 a hembras (49.67%). No se observó diferencia significativa en la proporción 1:1 anual ($\chi_c^2 = 0.004$, $p > 0.05$). En la mayoría de los meses la proporción sexual fue estadísticamente diferente de la proporción ~1:1 ($p < 0.05$), excepto en marzo, julio y noviembre (Tabla I). De noviembre de 2008 a abril de 2009 se observó que el número de hembras fue mayor que el de machos, excepto para enero; mientras que de mayo hasta noviembre de 2009 la proporción se invierte a favor de los machos (Tabla I).

Tabla I. Proporción sexual mensual y anual de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena, B.C.S., México. El asterisco (*) indica diferencia significativa con $\chi_c^2 = 3.841$.

Mes	Machos (%)	Hembras (%)	(M:H)	χ_c^2	p
nov-08	10 (37.04)	17 (62.96)	0.59:1	6.722	0.010*
dic-08	4 (28.57)	10 (71.43)	0.40:1	18.367	0.000*
ene-09	16 (66.67)	8 (33.33)	2.00:1	11.111	0.001*
feb-09	10 (33.33)	20 (66.67)	0.50:1	11.111	0.001*
mar-09	13 (46.43)	15 (53.57)	0.87:1	0.510	0.475
abr-09	9 (30.00)	21 (70.00)	0.43:1	16.000	0.000*
may-09	8 (61.54)	5 (38.46)	1.60:1	5.325	0.021*
jun-09	13 (65.00)	7 (35.00)	1.86:1	9.000	0.003*
jul-09	11 (55.00)	9 (45.00)	1.22:1	1.000	0.317
ago-09	10 (66.67)	5 (33.33)	2.00:1	11.111	0.001*
sep-09	9 (60.00)	6 (40.00)	1.50:1	4.000	0.046*
oct-09	18 (60.00)	12 (40.00)	1.50:1	4.000	0.046*
nov-09	20 (58.82)	14 (41.18)	1.43:1	3.114	0.078
Anual	151 (50.33)	149 (49.67)	1.01:1	0.004	0.947

7.2 Tipo de desarrollo gonadal por medio de estadios de ovocitos

A partir del análisis microscópico de 12 cortes histológicos en distintas fases de desarrollo, se observó que la proporción de estadios de ovocitos ($E_{1, 2, \dots, n}$) varía en

relación con el grado de madurez gonadal (Tabla II). Se observa que la proporción del estadio de ovocito más avanzado se incrementa conforme aumenta el grado de madurez gonadal, mientras disminuye o desaparecen los estadios de ovocitos menos desarrollados. Esto se observa claramente hasta el E₇, el cual corresponde a la fase IV o pre-desove. En E₈ y E₉ se observó solo un tipo de estadio de ovocito; considerando que el ovario en etapa post-desove (E₉) está compuesto en su mayoría por folículos atrésicos y algunos ovocitos libres.

Tabla II. Frecuencia promedio de estadios de ovocitos por fase de madurez gonádica de *O. hubbsorum*.

Fase	Hembras	Estadios de ovocitos								
		E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇	E ₈	E ₉
I	1	52	20							
II	2	19	44	16	10					
III	3	11	16	13	22	11				
IV	4		5	8	2	28	114			
IV	5		19	22	39	41	56	49		
IV	6			10	22	23	37	64		
IV	7			2		3	19	65		
IV	8					9	31	106		
V	9							11	64	
VI	10								22	85
VI	11								28	79
VI	12								1	100

7.3 Vitelogénesis identificada por medio de estadios de ovocitos y fases de desarrollo

De acuerdo a los estadios de ovocitos encontrados dentro de las fases de desarrollo de la gónada, se encontró que los organismos con vitelogénesis inicial (maduración) se encuentran en la mayor parte del año, mientras que organismos con gónadas en vitelogénesis avanzada (pre-desove) se presentaron a partir de mayo, y continuó hasta octubre. La vitelogénesis final (desove) se presentó en junio-julio y septiembre-octubre. El periodo de mayo a octubre coincide con la temporada reproductiva, determinando el inicio de la madurez funcional (Fig. 7).

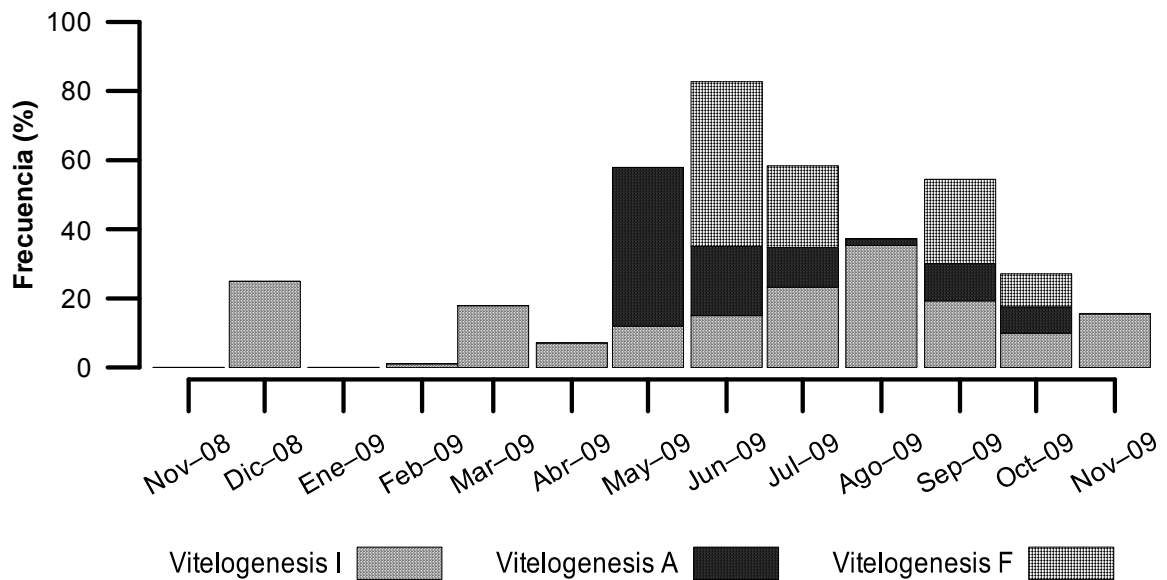


Figura 7. Frecuencia vitelogénica obtenida de la proporción de estadios de ovocitos de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena, B.C.S., México. Producción de vitelo: I = inicial, A = avanzada y F = final.

7.4 Ciclo y época reproductiva

En la figura 8 se presentan las frecuencias de las fases de desarrollo gonadal, las cuales fueron obtenidas con base en las proporciones de estadios de ovocitos. Organismos inmaduros se presentaron todo el año excepto en mayo, junio y septiembre. En los meses de noviembre de 2008 y enero 2009 se observó que ésta fase cubrió el 100%, el cual disminuyó gradualmente durante los meses de febrero (75%), marzo (53%) y abril (37%). Durante julio y agosto, el incremento se observa nuevamente (>10%) y continúa hasta octubre-noviembre de 2009 (69%).

Los organismos en maduración se presentaron durante todo el año en proporciones variables (10% a 60%), excepto en noviembre de 2008 y enero y mayo de 2009. En diciembre se encontró el 52% de organismos en esta fase, a partir de febrero se observó un incremento con un máximo en abril (60%). Sin embargo, a partir de junio la proporción disminuyó paulatinamente hasta un mínimo en octubre-noviembre de 2009 (10% y 20%, respectivamente). Las hembras en pre-desove solo se observaron de mayo a octubre, con un máximo en junio, julio y septiembre (50%). Mientras que el desove solo se observó en septiembre y octubre pero en baja proporción (13% y 8% respectivamente). Las hembras en post-desove solo se observaron en mayo (60%) y durante octubre y noviembre de 2009 con menos del 15%.

La observación del desarrollo gonadal de los machos indica que durante todo el año se encuentran organismos en la fase de madurez. Organismos en fase de desarrollo también se presentaron durante todo el año (con proporciones $\leq 80\%$ durante noviembre de 2008 y 2009), excepto en febrero, marzo, abril y agosto. Los organismos en espermiación se presentaron en mayo, julio, septiembre y octubre. No se observaron organismos en fase de inmadurez durante el periodo de muestreo.

De lo anterior se concluye que la temporada reproductiva de *O. hubbsorum* se lleva a cabo de mayo a octubre (Fig. 8).

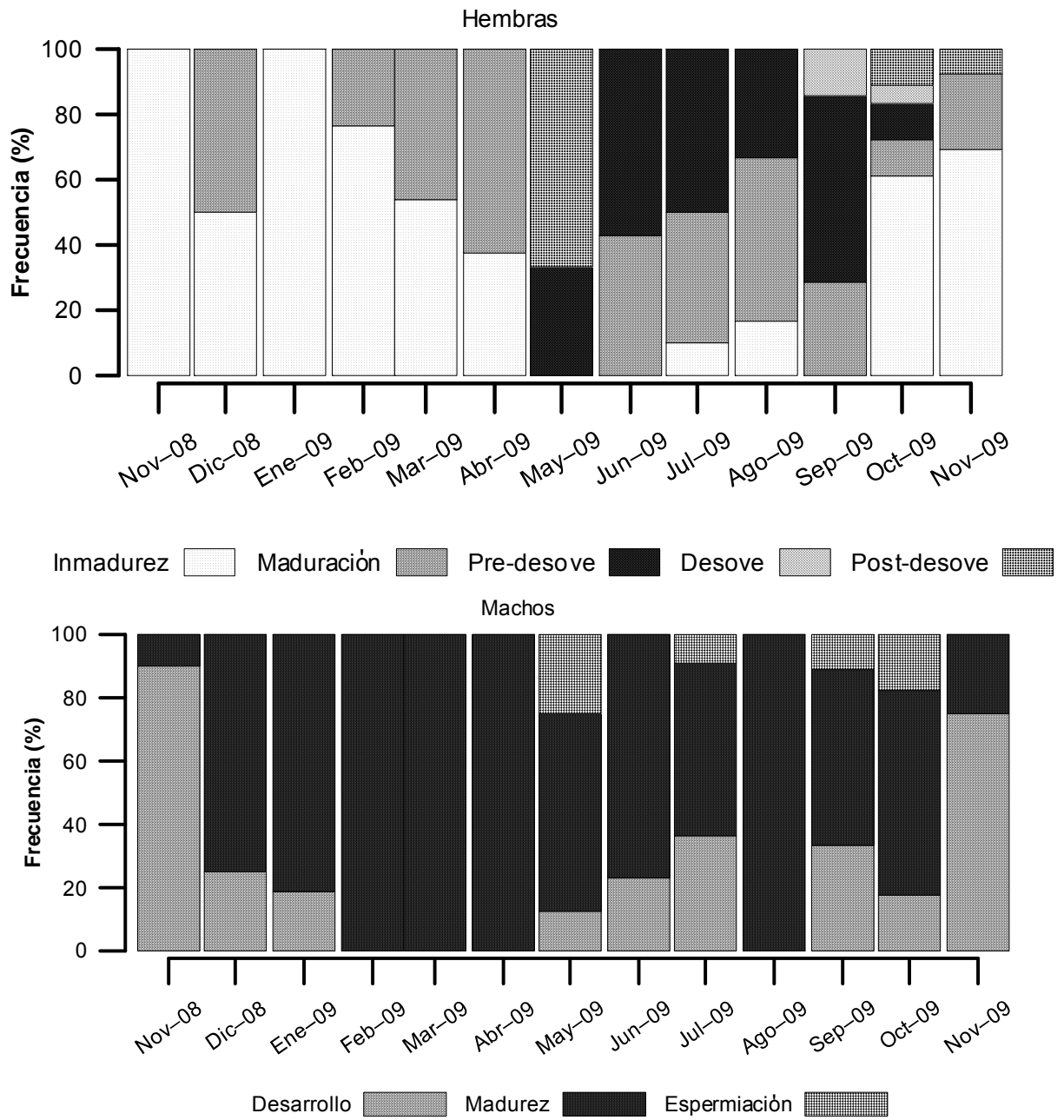


Figura 8. Frecuencia de las fases de desarrollo gonadal de hembras y machos de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena, B.C.S, México.

7.5 Diámetro de ovocitos

Se midieron en total 6,217 ovocitos. El diámetro de los ovocitos presentó una variación significativa ($F_{1, 6215}=486.80, P<0.05$) a lo largo del periodo de estudio. De noviembre de 2008 a abril de 2009 el diámetro se mantuvo entre 70 y 90 μm . Se observó un crecimiento significativo en mayo de 2009 (340 μm), el diámetro disminuyó hacia junio y julio (190 y 165 μm , respectivamente). En septiembre se observó un segundo pico (190 μm) y una disminución progresiva hacia el mes de noviembre de 2009 (Fig. 9).

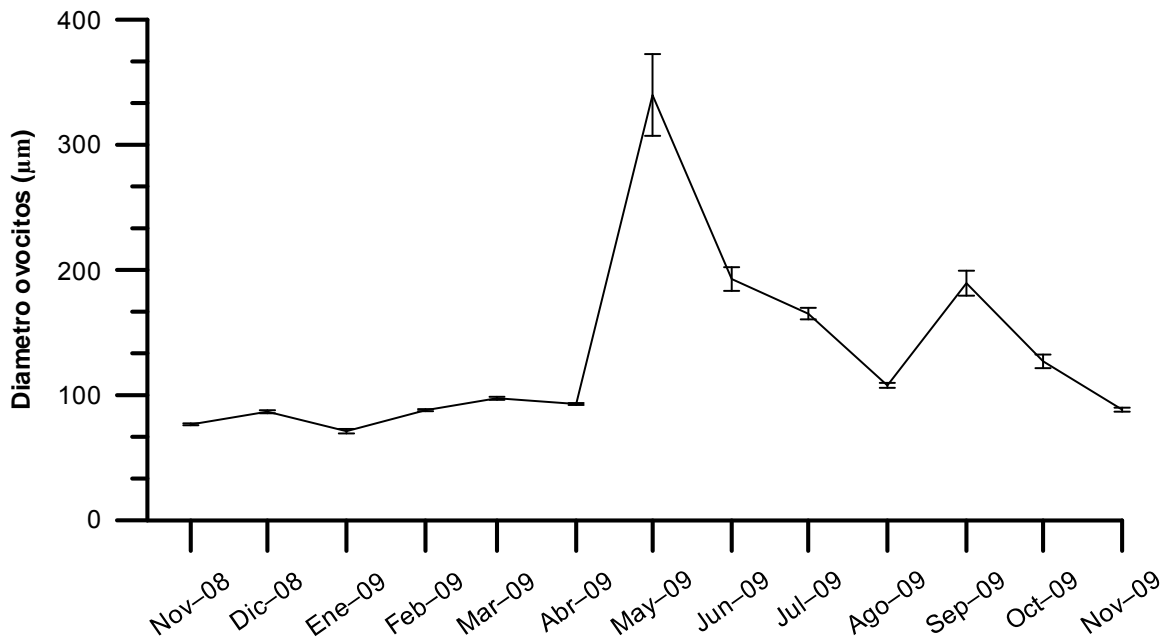


Figura 9. Variación mensual del diámetro promedio de los ovocitos de *O. hubbsorum* durante el periodo de estudio (barras = Error Estándar).

7.6 Número de espermatozoides

Los machos de *O. hubbsorum* presentaron espermatozoides durante todo el periodo de estudio. El promedio fue de 52 ± 2.40 espermatozoides con un mínimo de cuatro y un máximo de 142 espermatozoides por saco de Needham. Es evidente la tendencia a incrementar del número de espermatozoides de noviembre de 2008 a septiembre de 2009, con picos máximos en mayo y septiembre de 2009 (72 y 84, respectivamente) (Fig. 10), sin embargo no se observó una diferencia significativa entre los meses analizados ($H=0.00$, $P=1.000$).

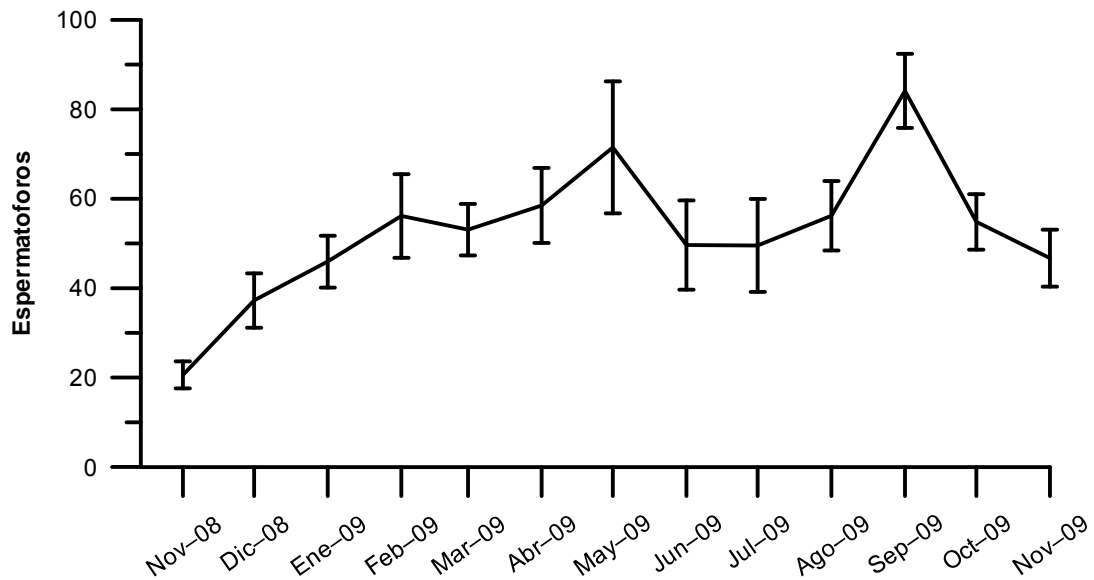


Figura 10. Variación promedio mensual de espermatozoides de *O. hubbsorum* (barras = Error Estándar).

7.7 Índice gonadosomático

En las hembras la variación del IGS a lo largo del periodo de estudio mostró diferencia significativa entre algunos meses (ANDEVA de una vía). Los valores más bajos ($\sim 0.13\%$) se presentaron de noviembre de 2008 a abril de 2009. El IGS inicia su incremento a partir de mayo (0.55%) con incrementos significativos ($F_{12, 140}=9.75$; $P<0.05$) en junio (2.17%) y septiembre (1.11%) pero valores bajos en julio y agosto (0.50%). En octubre-noviembre de 2009 el IGS disminuye nuevamente (0.12%) (Fig. 11). Se encontró una correlación inversa entre la temperatura del agua y el IGS de hembras ($r = -0.21$, $P<0.05$) y una positiva entre el IGS y el DO ($r = 0.63$; $P<0.05$) (Tabla III).

En el caso de los machos, se observó que el índice más bajo (0.28%) se presentó en noviembre de 2008, éste se incrementó en diciembre de 2008 (0.55%) y se mantuvo con poca variación (0.52 a 0.57%) durante los siguientes meses, excepto en mayo de 2009, cuando ocurrió un incremento importante (0.78%) aunque no significativo. Estadísticamente se observó que solo noviembre de 2008 es diferente de los demás ($F_{11, 128}=1.42$, $P<0.05$) (Fig. 11). Se encontró una correlación inversa entre el IGS de machos y la temperatura del agua ($r = -0.24$, $P<0.05$) y una correlación positiva entre IGS y el número espermatozoides ($r = 0.29$; $P<0.05$) (Tabla III).

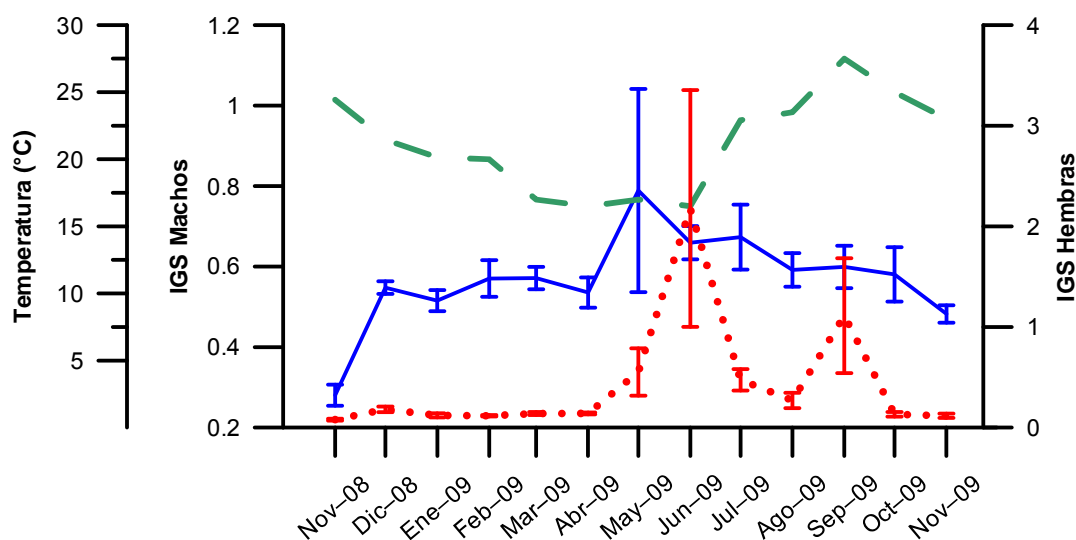


Figura 11. Variación mensual del índice gonadosomático de machos (—) y hembras (•••) de *O. hubbsorum* y la temperatura (—) del agua en Bahía Magdalena, B.C.S., México (barras = Error Estándar).

7.8 Índice de madurez

La variación del IM para machos y hembras se muestra en la figura 12. En hembras, los valores más elevados del IM se encuentran de noviembre de 2008 a marzo de 2009 (0.25–0.33) mientras que de abril a septiembre de 2009 (0.21–0.09) se observaron los valores más bajos ($F_{12, 130} = 10.57$, $P < 0.05$). Por lo tanto, el periodo de madurez abarca de mayo a septiembre cuando la temperatura comienza a incrementarse de 17°C en mayo hasta 27.5°C en septiembre (Fig. 12) y la madurez funcional es evidente (Fig. 7). Se observó una significativa correlación inversa entre el IM y el IGS ($r = -0.86$, $P < 0.05$), así mismo con el diámetro de los ovocitos ($r = -0.66$, $P < 0.05$) (Tabla III).

El IM de machos no presentó una variación significativa durante el periodo de estudio (rango 0.35 a 0.45) ($F_{11, 130} = 1.42$, $P > 0.05$), con excepción de mayo (0.32) donde ocurrió una disminución significativa ($F_{1, 148} = 32.56$, $P < 0.05$), lo que permite suponer que los machos se encuentran en un estadio de madurez constante (Fig. 12). Existe correlación entre el IM y el número de espermatozoides ($r = 0.20$, $P < 0.05$) (Tabla III).

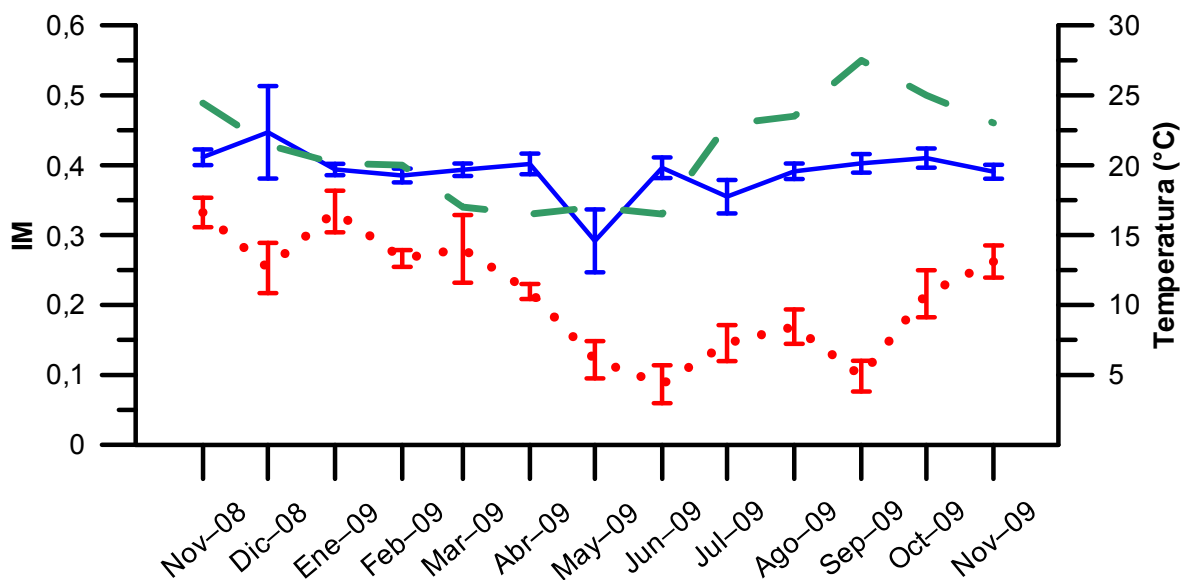


Figura 12. Variación mensual del índice de madurez de machos (—) y hembras (•••) de *O. hubbsorum* y la temperatura (—) del agua de Bahía Magdalena, B.C.S., México (barras = Error Estándar).

7.1 Índice de la glándula oviductal

El índice de la glándula oviductal no varió significativamente a lo largo del año, excepto durante el mes de mayo ($F_{12, 142} = 2.93$, $P < 0.05$) cuando hubo un incremento de sus valores (6.4). Un análisis de comparación múltiple con el valor más alto (Hsu's MCB) muestra que los meses de mayo y junio son los que presentan un índice más elevado (Fig. 13). Se obtuvo una correlación inversa con la temperatura ($r = -0.26$, $P < 0.05$) y una correlación positiva con el IGS ($r = 0.22$; $P < 0.05$) (Tabla III).

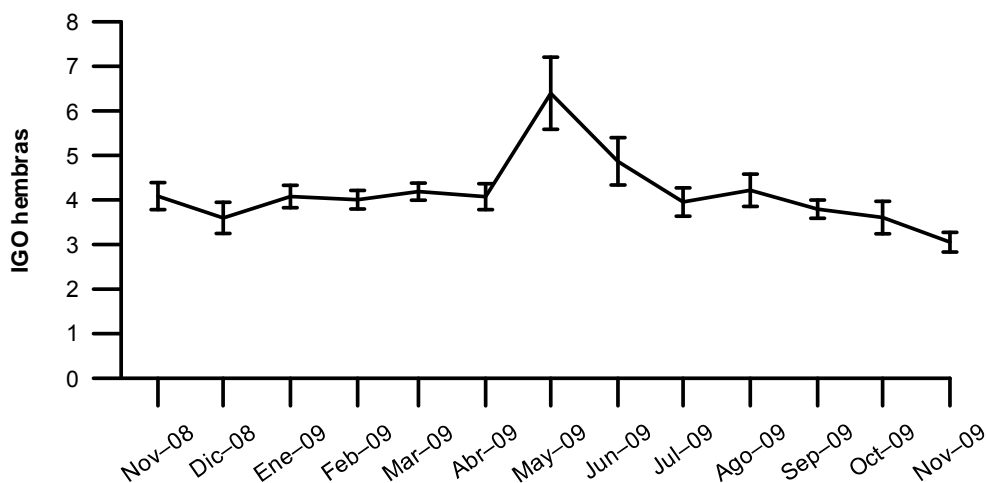


Figura 13. Variación mensual promedio del índice de la glándula oviductal (IGO) en hembras de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena, B.C.S., México (barras = Error Estándar).

7.2 Índice de la glándula digestiva

El IGD en las hembras indicó un incremento de noviembre de 2008 (2.55%) a enero de 2009 (3.72%). Se observó una disminución a partir de febrero, hasta alcanzar el valor más bajo en mayo (2.11%). A partir de junio este se incrementa nuevamente hasta un máximo significativo en julio (4.60%), el cual disminuye en agosto. En septiembre hay un nuevo incremento significativo (4.26%). Solo junio, julio y septiembre presentaron los valores significativamente más altos ($F_{1, 148} = 25.32$, $P < 0.05$) (Fig. 14). Se observó una correlación con el IGS ($r = 0.29$, $P < 0.05$), el diámetro de ovocitos ($r = 0.18$, $P < 0.05$) y la temperatura ($r = 0.20$, $P < 0.05$) (Tabla III).

En el caso de los machos no se observaron eventos relevantes de cambios en los valores del IGD, con excepción de agosto, cuando disminuye significativamente ($F_{1,148}=42.29$, $P<0.05$) (Fig. 14).

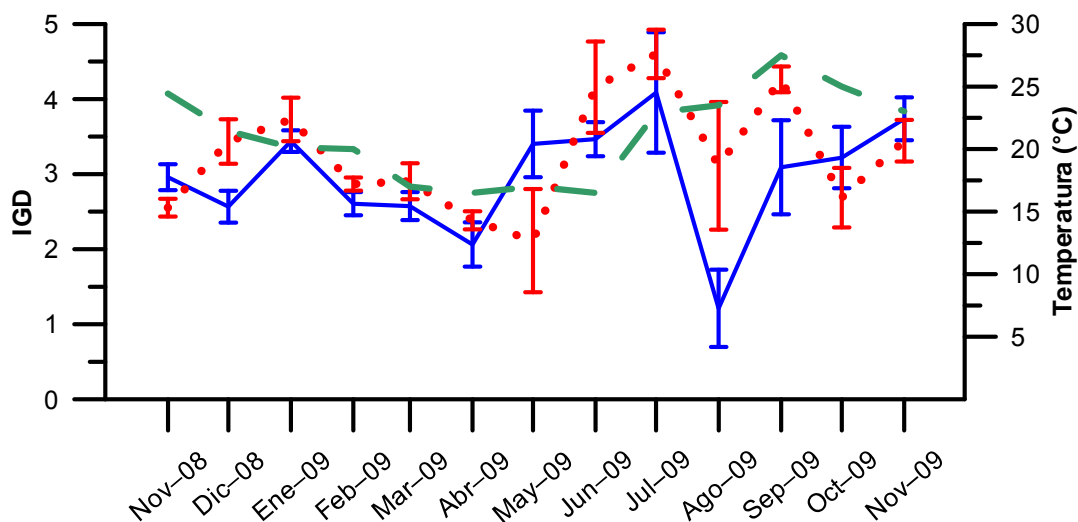


Figura 14. Variación mensual de la temperatura (---) y el índice de la glándula digestiva (IGD) de machos (—) y hembras (•••) de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena, B.C.S., México (barras = Error Estándar).

Un análisis de Kruskal-Wallis del peso de la glándula digestiva de las hembras por fase de madurez gonádica indica un incremento significativo en cada fase de desarrollo y hasta la fase de pre-desove (IV) ($H=70.8$, $P<0.05$). En el desove (V) y el post-desove (VI), el peso de la glándula digestiva disminuye, aunque éste no fue significativo (Fig. 15).

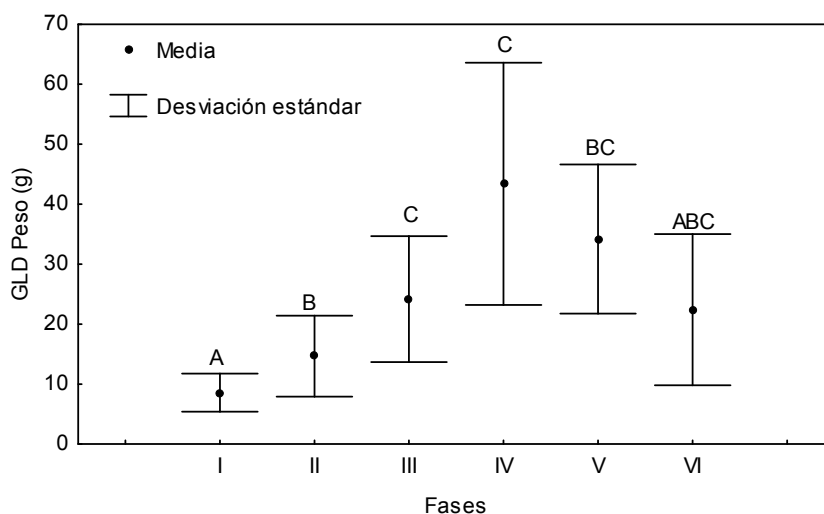


Figura 15. Análisis de Kruskal-Wallis del peso de la glándula digestiva de hembras en las distintas fases de desarrollo gonadal.

Tabla III. Correlación de variables obtenidas para machos y hembras de *O. hubbsorum*. IGS=índice gonadosomático, IM= índice de madurez, IGD=índice de la glándula digestiva, Temp.=temperatura, IGO = índice de la glándula oviductal, DO= diámetro de los ovocitos, No. Sperm.=número de espermátóforos. Los números en rojo y cursivas demuestran una correlación positiva.

	Variable	IGS	IM	IGD	Temp.	IGO	DO.
Hembras	IGS	1					
	IM	<i>-0.86</i>	1				
	IGD	<i>0.27</i>	-0.15	1			
	Temp.	<i>-0.21</i>	0.1	<i>0.20</i>	1		
	IGO	<i>0.22</i>	-0.13	-0.03	<i>-0.26</i>	1	
	DO.	<i>0.63</i>	<i>-0.66</i>	<i>0.18</i>	-0.14	0.13	1
	Variable	IGS	IM	IGD	Temp.	No. Sperm.	
Machos	IGS	1					
	IM	<i>-0.28</i>	1				
	IGD	-0.04	-0.07	1			
	Temp.	<i>-0.24</i>	0.10	0.11	1		
	No. Sperm.	<i>0.29</i>	<i>0.20</i>	-0.08	-0.01	1	

7.3 Distribución de tallas y pesos

El rango de peso total en hembras fue de 89.1 a 2670 g, con un promedio de 688.4 g (DE = 473.2) y una moda de 576 g. El rango de longitud total es de 280 a 1020 mm con un promedio de 583.6 mm (DE = 140.5) y en la longitud del manto dorsal se observó un rango de 50 a 220 mm, con un promedio de 115.8 mm (DE = 30.3). En el caso de los machos, se observó que el rango de peso total estuvo entre 156.6 y 3705 g con un promedio de 844.9 g (DE = 563.7) y una moda de 320 g. La longitud total se mantiene entre los 305 y 950 mm con un promedio de 569.7 mm (DE = 130.0) y en la longitud del manto dorsal la frecuencia se mantuvo entre 65 y 215 mm con un promedio de 125.3 mm (DE=29.3) (Fig. 16).

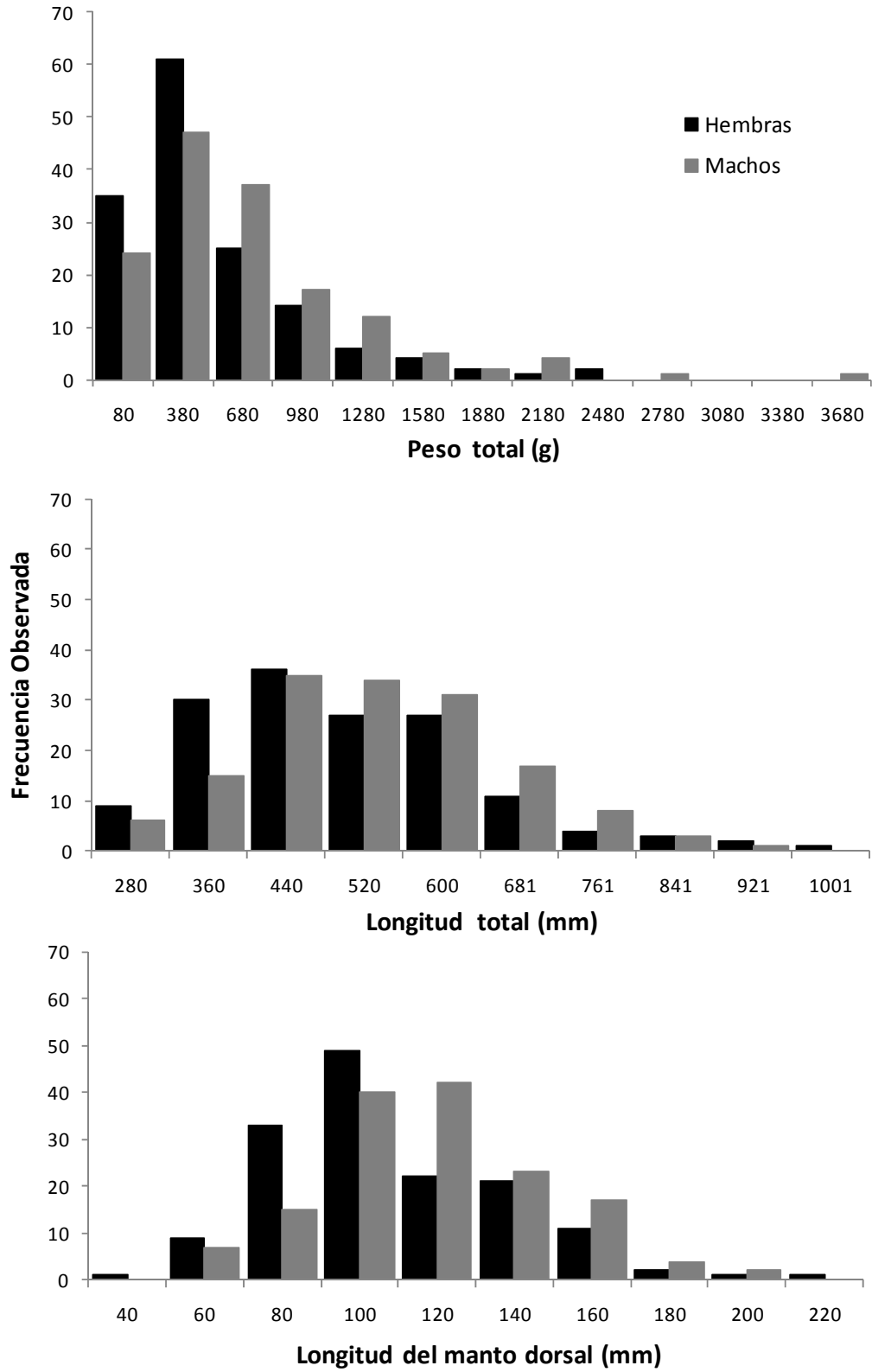


Figura 16. Distribución de frecuencias de peso total, longitud total y longitud del manto dorsal, de hembras y machos de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena, B.C.S., México.

7.4 Relación talla-peso

La relación talla-peso fue calculada para ambos sexos por separado, obteniendo las siguientes relaciones: para machos ($n= 150$, $R^2 = 0.81$) y para las hembras ($n=150$, $R^2= 0.85$). El análisis de suma de cuadrados residuales (ARSS) para comparar las pendientes de la relación talla-peso en ambos sexos indicó que existe diferencia entre las pendientes de LMD ($F_{2, 296}=5.11$, $P < 0.05$) (Fig. 17A).

En el caso de la LT las relaciones talla-peso fueron: para machos ($n= 150$, $R^2 = 0.87$) y para las hembras ($n= 150$, $R^2 = 0.90$), y al igual que la LMD las diferencias fueron significativas entre las pendientes de ambos sexos ($F_{2, 296}= 27.38$, $P < 0.05$) (Fig. 17B).

En ambos sexos se observó que el crecimiento es alométrico negativo, donde los machos alcanzan un mayor peso a una talla menor que las hembras.

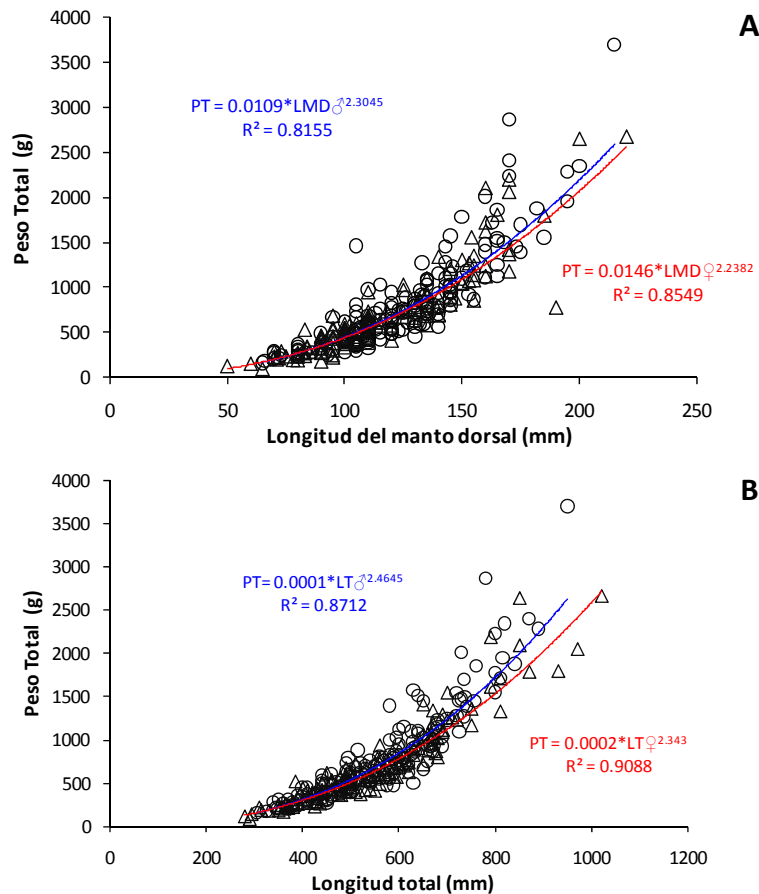


Figura 17. Comparación de pendientes de la relación del peso total con A) la longitud del manto dorsal y B) la longitud total de machos (○) y hembras (△) de *O. hubbsorum* de Bahía Magdalena, B.C.S. México.

7.5 Talla y peso de madurez

El rango de la LMD para hembras maduras fue de 90–190 mm (media = 13.2 mm), el rango de PT fue de 330 g–1793 g (media = 863.50 g). Aplicando el modelo sigmooidal logístico (F_3 , $\eta=166.3$, $P<0.05$), se observó que la talla y peso en la cual el 50% de las hembras son consideradas maduras fue de 119.7 mm de LMD y 628.58 g de PT (Fig. 18).

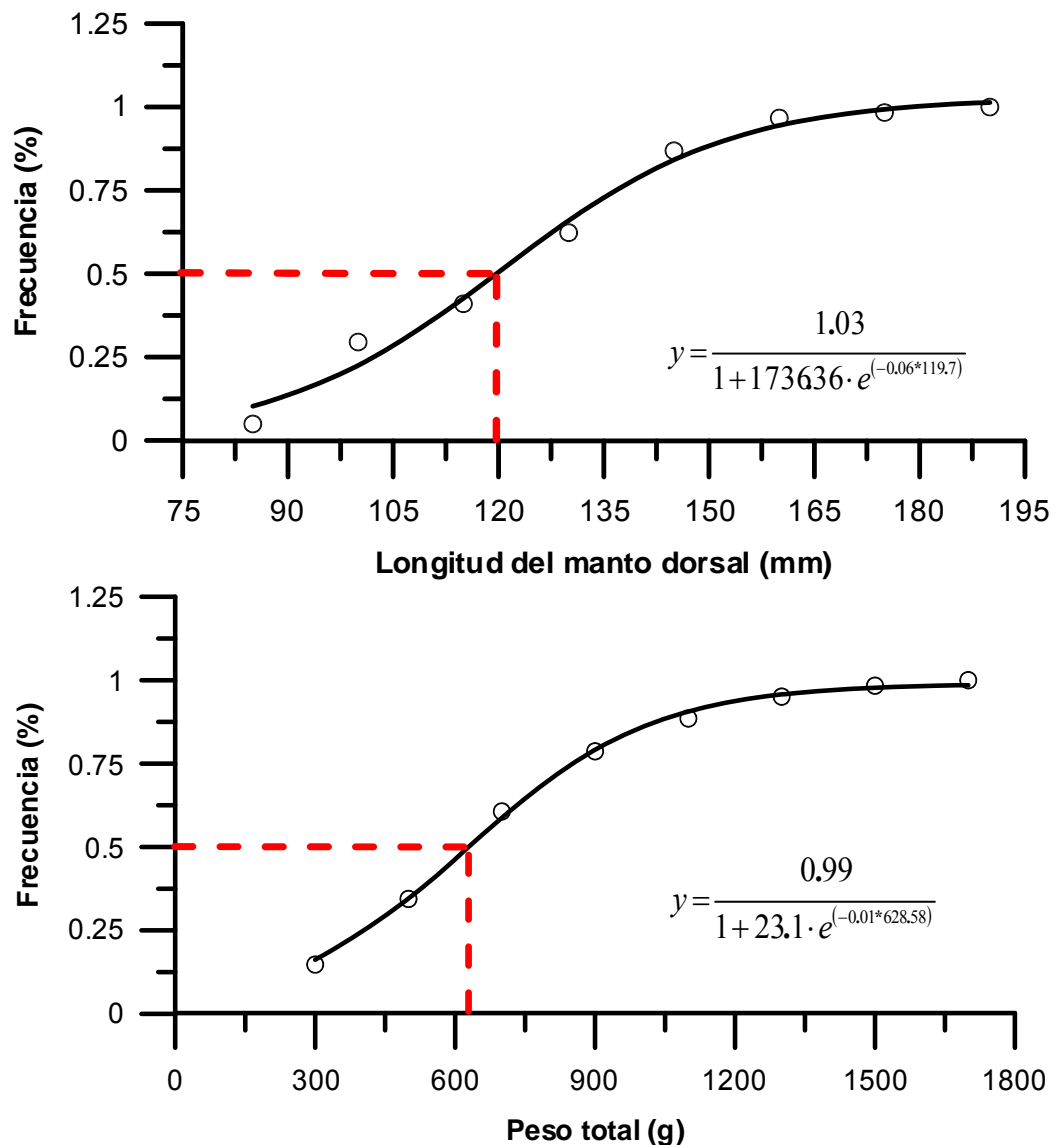


Figura 18. Modelo logístico para la determinación de la Longitud del manto dorsal y Peso total de madurez donde el 50% (—) de las hembras alcanzan la madurez.

7.6 Análisis de progresión modal

El análisis de progresión modal de la longitud del manto dorsal de 300 pulpos muestra que al menos existen dos cohortes al año. La primera se observa en el periodo de diciembre a mayo, cuando ocurre el desove (mayo), cuando la talla modal alcanza los 175 mm de LMD. La segunda cohorte abarca el periodo de febrero a septiembre, mes en el cual se observan organismos en pre-desove, alcanzando tallas de 160 mm de LMD. En noviembre de 2009 posiblemente se origine una tercera cohorte (95 mm) que se alterna con la que proviene de octubre (143 mm) y otra en la cual el origen más cercano podría estar entre julio y agosto alcanzando los 183 mm de LMD. Este análisis explica porque existe la presencia de organismos con diversas tallas y por ende diferentes fases de desarrollo gonadal (Fig. 7) durante todo el año incluyendo aquellos meses cuando el periodo de desove se presenta (Fig. 19, Tabla IV). Esto también determina que la población de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena presenta una alternancia de generaciones, observando que el reclutamiento se lleva a cabo en octubre, febrero y posiblemente entre los meses julio-agosto.

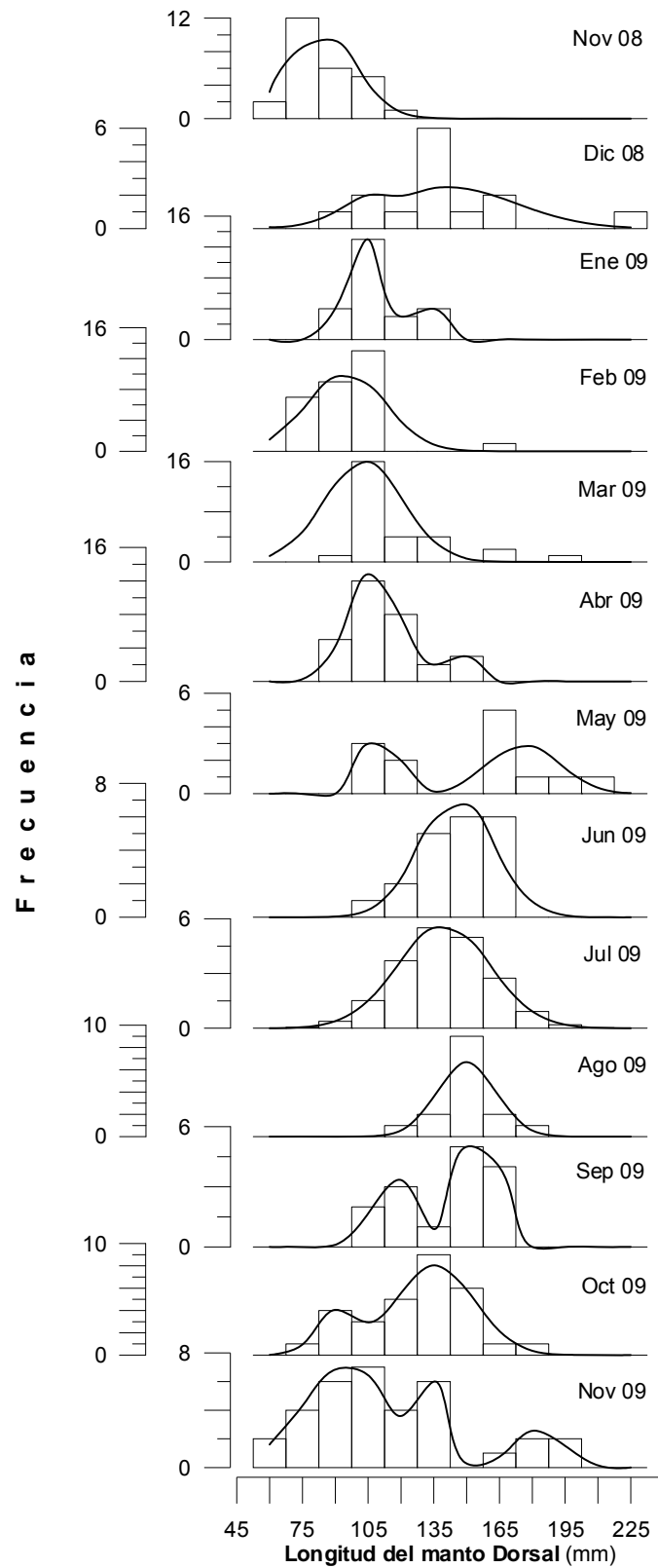


Figura 19. Progresión modal mensual de la longitud del manto dorsal obtenida del modelo multinomial de máxima verosimilitud para el periodo noviembre 2008-2009 de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena. Las barras muestran la frecuencia observada y la línea la esperada.

Tabla IV. Modas observadas de la Longitud del manto dorsal en el periodo de noviembre 2008-2009, obtenidas por medio del análisis de progresión modal de máxima verosimilitud. Entre paréntesis se presentan las varianzas.

Mes	Cohorte 1	Cohorte 2	Cohorte3
nov-08	84.01 (15.86)		
dic-08	98.16 (3.65)	141.40 (31.39)	
ene-09	100.09 (5.74)	128.05 (5.20)	
feb-09	95.12 (18.02)		
mar-09	118.23 (23.38)		
abr-09	107.83 (11.75)	143.70 (4.23)	
may-09	111.78 (5.11)	176.19 (16.47)	
jun-09	145.5 (17.17)		
jul-09	139.5 (21.27)		
ago-09	150.00 (13.42)		
sep-09	117.65 (10.54)	157.09 (5.28)	
oct-09	90.35 (9.17)	135.66 (18.02)	
nov-09	95.78 (20.72)	134.09 (1.71)	183.13 (11.17)

VIII. Discusión

8.1 Proporción de sexos

En Bahía Magdalena la proporción sexual total de *O. hubbsorum* se mantiene 1:1, lo cual concuerda con lo reportado anteriormente por Pliego-Cárdenas *et al.* (2011) (0.85H:1M) para la misma especie en la Isla Espíritu Santo y difiere de las reportadas en el Parque Nacional Bahía de Loreto (0.7H:1M), las costas de Jalisco (1H:1.18M) y Oaxaca (2H:1M) donde se observó diferencia significativa (Bravo-Olivas, 2008; López-Uriarte y Ríos-Jara, 2009; Alejo-Plata *et al.*, 2009). Por otra parte, en Bahía Magdalena se observó, que la proporción de hembras fue significativamente ($P < 0.05$) mayor de noviembre 2008 a abril 2009 (época de crecimiento) y menor de mayo 2009 a noviembre 2009 (época reproductiva), lo cual difiere completamente de lo reportado por los autores anteriores. Esta diferencia puede explicarse en dos sentidos:

1) La prueba estadística χ^2 aplicada a la proporción de sexos es la más común para identificar diferencias. Por lo que se le considera como una buena prueba de decisión debido a su distribución continua, con un ajuste muy bueno. Sin embargo, cuando se tienen dos categorías y un grado de libertad, como es el caso en la proporción de sexo ($\nu = 1$; ejemplo: M:H) se puede sesgar la hipótesis ($H_0 = 1:1$). Por lo que es recomendable utilizar la *corrección de Yates para continuidad* (χ_c^2) cuando solo ocurren dos categorías (Zar, 1974).

2) Es común observar una alternancia entre la presencia dominante de machos o de hembras (Cardoso *et al.*, 2004). En este sentido, Mangold (1983) menciona que las hembras de *O. vulgaris* se mueven hacia la costa a inicios de la primavera y desaparecen durante el verano ocultándose principalmente por el desove y el cuidado de sus huevos, posteriormente los machos comienzan a observarse en busca de hembras y desaparecen a principios de invierno. Este comportamiento explica la dominancia de machos durante el periodo reproductivo, el cual a su vez también es influenciado por los límites de muestreo (Krstulović-Šifner y Vrgoč 2009), pues al quedar expuestos en la búsqueda de hembras son vulnerables a la captura (Hernández-García, 2002; Rodríguez-Rúa *et al.*, 2005; Avila-Poveda *et al.*, 2009). Es muy probable que este comportamiento también lo realice *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena debido a la alternancia sexual obtenida. Un factor

adicional puede ser el tipo de muestreo (gancho) ya que para el buzo es más probable (durante la temporada reproductiva) capturar machos que están en busca de hembras, que a éstas que permanecen cuidando la puesta.

8.2 Tipo de desarrollo gonadal por medio de estadios de ovocitos

El presente estudio reporta por primera vez la proporción de los diferentes estadios de ovocitos presentes en el ovario de *O. hubbsorum*. Aunque se ha determinado que esta especie presenta un desarrollo ovárico asincrónico (Bravo-Olivas, 2008; Pliego-Cárdenas *et al.*, 2011), el análisis realizado demuestra que no existe una asincronía bien definida ya que la proporción de ovocitos más avanzados se incrementa y disminuyen aquellos en estadios inferiores conforme se alcanza la madurez (Tabla II), a este patrón de ovulación se le conoce como “grupos-sincrónicos” y Rocha *et al.* (2001) lo definen como: *En un ovario de grupos-sincrónicos coexisten al menos dos poblaciones de ovocitos al mismo tiempo, donde se observa una población de ovocitos grandes y una población de ovocitos más pequeños, la cual es reclutada continuamente; este patrón de ovulación es muy común en peces teleósteos.* El desarrollo ovárico por grupos-sincrónicos también ha sido reportado para *Eledone moschata* en el mar Adriático (Krstulović-Šifner y Vrgoč, 2009)

De acuerdo con este patrón de desarrollo en el estadio 8 (E₈) corresponden solo a ovocitos libres (Tabla II), esto indica que una vez que las hembras de *O. hubbsorum* alcanzan la ovulación (fases V y VI), el ovario ha dejado de producir estadios celulares anteriores. Baeg *et al.* (1993) y Laptikhovsky y Arkhipkin, (2001) mencionaron que los ovocitos en un estadio primario gradualmente se transforman a estadios más avanzados durante la maduración y consecuentemente las ovogonias dejan de observarse.

Olivares-Paz *et al.* (2001) mencionan que la ausencia de ovocitos inmaduros durante el periodo de desove evidencia que *O. mimus* tiene un único evento reproductivo y que el ovario no tiene el potencial para restablecer la función gametogénica. Rocha *et al.* (2001) han definido esta estrategia reproductiva en especies semélparas de cefalópodos como un “desove simultaneo terminal”. De acuerdo a las evidencias histológicas mostradas en este estudio y en otros (Bravo-Olivas, 2008; Pliego-Cárdenas *et al.*, 2011; López-Uriarte y Ríos-Jara, 2009), *O. hubbsorum* presenta esta estrategia. Asimismo, de acuerdo a las

características citológicas que describe Castellanos-Martínez (2008) para *O. bimaculatus* de Bahía de Los Ángeles es posible que esta especie presente la misma estrategia.

8.3 Vitelogénesis obtenida por medio de estadios de ovocitos y fases de desarrollo

Generalmente, en moluscos, las células foliculares están involucradas en diferentes funciones como la producción de hormonas, la formación de una membrana secundaria en el ovocito, la vitelogénesis y el proceso de ovulación (Baeg *et al.*, 1993). La vitelogénesis en cefalópodos marca el inicio de la madurez sexual, produciendo un acelerado crecimiento del ovario debido a la acumulación de vitelo y deteniendo la proliferación de las células germinales (Olivares-Paz *et al.*, 2001). En *O. hubbsorum* la vitelogénesis inicial se encontró durante todo el año, mientras que el cambio a una madurez funcional ocurre en un tiempo relativamente corto (de abril a mayo) y está presente durante mayo-octubre, cuando la vitelogénesis avanzada y final son evidentes. Diversos autores han mencionado que una vitelogénesis funcional se alcanza cuando el sincitio folicular está formándose y continúa hasta alcanzar la formación del corion, principalmente cuando las condiciones ambientales, como la temperatura, son favorables (Boletzky, 1983; Arkhipkin, 1992; Baeg *et al.*, 1993; Olivares-Paz *et al.*, 2001; Laptikhovsky y Arkhipkin, 2001). En este estudio el rango de temperatura favorable para llevar a cabo la madurez funcional de *O. hubbsorum* fue de 17°C a 27.5 °C.

8.4 Ciclo y época reproductiva

En el presente estudio se observaron seis fases de desarrollo gonadal, encontrando hembras inmaduras (Fases I y II) y en maduración (Fase III) durante todo el año de muestreo; y en el caso de los machos no se observaron organismos inmaduros. La presencia de hembras inmaduras de *O. hubbsorum* durante todo el año ya se había observado en Bahía de Loreto (Bravo-Olivas, 2008) y en Isla Espíritu Santo (Pliego-Cárdenas *et al.* 2011). Hernández-García *et al.* (2002) y Rodríguez-Rúa *et al.* (2005) mencionan que la frecuencia de hembras inmaduras durante todo el año es común en *O. vulgaris*.

Anderson *et al.* (2002) encontraron que en pulpos, los machos jóvenes son capaces de mejorar la asimilación de alimento y por lo tanto tienen tasas de crecimiento más elevadas, lo que los hace alcanzar la madurez sexual muy rápido. En este sentido, se explica la presencia de fases de desarrollo y madurez desde tallas muy pequeñas (70 mm de LMD, 205 g de PT) en machos de *O. hubbsorum*. Lo anterior parece ser una situación común, ya que la presencia de gametos masculinos en tallas pequeñas de otras especies de pulpo como *O. maya* también es evidente (Avila-Poveda *et al.*, 2009).

Las temporadas reproductivas para *O. hubbsorum* se han registrado previamente en otras zonas de las costas del Pacífico Mexicano: en Bahía de Loreto, Bravo-Olivas (2008) reportó dos picos reproductivos uno en junio y otro en febrero, asimismo Pliego-Cárdenas *et al.* (2011) también reportaron dos picos reproductivos en la isla Espíritu Santo, uno de septiembre a diciembre y otro en marzo. Sin embargo, López-Uriarte y Ríos-Jara (2009) mencionaron que esta especie se reproduce durante todo el año en las costas de Jalisco, México. El presente estudio indica que la temporada reproductiva de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena está bien definida y es de mediados de primavera a mediados de otoño (de mayo a octubre). Cortez *et al.* (1995) mencionan que en las especies de *Octopus* spp. se han observado una variedad de periodicidades reproductivas, desde los estrictamente desovadores estacionales hasta aquellos con desoves durante todo el año. En las costas de Galicia *O. vulgaris* presenta una sola temporada reproductiva (Otero *et al.*, 2007); al igual que en el área de Banyuls-sur-Mer (Francia) (Mangold y Boletzky, 1973). Cortez *et al.* (1995) mencionan que la población de *O. mimus* presenta maduración principalmente en primavera y verano, tal como sucede en *O. bimaculatus* en Bahía de Los Ángeles, Golfo de California (Castellanos-Martínez, 2008).

Por otro lado, en Bahía Magdalena se observaron machos maduros durante todo el año, con espermiación de mayo a octubre. Aunque la temporada de espermiación de esta especie no concuerda con lo reportado en las diferentes zonas por otros autores (Bravo-Olivas, 2008; Pliego-Cárdenas *et al.* 2011; López-Uriarte y Ríos-Jara, 2009), si coincide con la presencia de organismo maduros durante todo el año. Mangold y Boletzky (1973) y Rodríguez-Rúa *et al.* (2005) mencionan que la presencia de machos maduros de *O. vulgaris* durante todo el año y con picos máximos es considerado normal, principalmente cuando

ocurre la temporada reproductiva. Lo mismo ha sido reportado para *Eledone cirrhosa* (Boyle y Knobloch, 1984).

Existen diversos factores que influyen la maduración y el desove de los cefalópodos, los más importantes hasta el momento son la temperatura, la disponibilidad de alimento y el fotoperiodo (Cortez *et al.*, 1995; Rodríguez-Rúa *et al.*, 2005). En Bahía Magdalena se observó que la temperatura comienza a descender a partir de octubre y continúa hasta abril (invierno) cuando alcanza los 16.5° C, lo cual coincide con la mayor proporción de organismos inmaduros. A partir de mayo y hasta septiembre (primavera-verano) la temperatura se incrementa alcanzando los 27.5°C, cuando ocurre el periodo reproductivo y el desove de *O. hubbsorum*. En este sentido, se ha reportado que las temperaturas frías afectan las tasas de desarrollo de ovocitos y la acumulación de vitelo, por lo que no se espera que aumenten de tamaño (Laptikhovsky y Arkhipkin, 2001), mientras que las temperaturas altas son causa de precocidad en el desarrollo sexual, ocasionando periodos reproductivos más largos (Krstulović-Šifner y Vrgoč, 2009), caso similar al del presente estudio.

Se ha reportado el rango de temperaturas durante los eventos reproductivos de *O. hubbsorum* en diferentes zonas: Bahía de Loreto entre 19.5 – 26.0°C (Bravo-Olivas, 2008), Isla Espíritu Santo entre 24 – 30°C (Pliego-Cárdenas *et al.*, 2011), costas de Jalisco entre 22.8 – 30.6°C (López-Uriarte y Ríos-Jara, 2009) y en costas de Oaxaca entre 25.5 – 30°C (Alejo-Plata *et al.*, 2009). Esto demuestra que *O. hubbsorum* es una especie que al igual que muchos cefalópodos prefiere las temperaturas cálidas para llevar a cabo su reproducción. Otero *et al.* (2007) mencionan que *O. vulgaris* presenta solo una temporada reproductiva en las costas de Galicia y esto se atribuye a la presencia de surgencias costeras fuertemente estacionales. En Bahía Magdalena las surgencias ocurren durante todo el año, sin embargo las principales están asociadas a temperaturas bajas y ocurren durante el periodo de febrero a mayo (Lluch-Belda *et al.*, 2000). De acuerdo con lo anterior, *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena posiblemente se esté alimentando durante este periodo debido a las condiciones frías y disponibilidad de alimento y se reproduzca cuando la temperatura incrementa. Alejo-Plata *et al.* (2009) mencionan que la temporada reproductiva de *O. hubbsorum* se asocia con los máximos de productividad primaria en el Golfo de Tehuantepec, Oaxaca.

Se sabe que la glándula digestiva de los moluscos generalmente es responsable del almacenamiento de los nutrientes y de la transferencia del alimento asimilado a los tejidos corporales, y que la iniciación de la fase de crecimiento del ovocito es dependiente de la acumulación y del envío de las reservas de nutrientes desde la glándula digestiva hacia la gónada (Sastry y Blake, 1971; Gabbott y Bayne, 1973; Vassallo, 1973; Barber y Blake, 1983; Pazos *et al.*, 1997; Lodeiros *et al.*, 2001). A pesar de que el IGD no presentó una variabilidad significativa durante el año, el peso de la glándula digestiva sí incrementó significativamente desde la inmadurez hasta el pre-desove y disminuyó (no significativo) hacia el post-desove. Este proceso fisiológico parece ser común en pulpos pues ha sido reportado en otras especies como: *O. mimus* (Cortez *et al.*, 1995), *O. vulgaris* (Otero *et al.*, 2007) y *O. bimaculatus* (Castellanos-Martínez, 2008). Generalmente, se esperaría que el peso de la glándula digestiva disminuyera conforme la maduración sexual avanza, sin embargo esto no se observó en *O. hubbsorum*, lo que hace suponer que los productos almacenados no son transferidos directamente de un órgano a otro (en este caso de la glándula digestiva a la gónada) (Moltschaniwskyj y Semmens, 2000; Rosa *et al.*, 2004; Rosa *et al.*, 2005). Esto sugiere que *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena utiliza energía de la ingesta directa para la producción de huevos (Pliego-Cárdenas *et al.*, 2011), más que de productos almacenados, utilizando la glándula digestiva como un sustrato o centro metabólico (Moltschaniwskyj y Semmens, 2000; Rosa *et al.*, 2004). La ligera caída en el peso de la glándula durante la fase de post-desove, puede deberse al catabolismo de proteínas y lípidos en la glándula como una respuesta a la inanición de las hembras durante el cuidado de sus huevos (Rosa *et al.*, 2004), ya que se ha observado con mayor frecuencia estómagos de hembras de *O. hubbsorum* vacíos durante esta fase (López-Uriarte *et al.*, 2010).

8.5 Diámetro de ovocitos

En *O. hubbsorum* el diámetro de ovocitos también marca la temporada reproductiva de mayo a octubre cuando el máximo diámetro de ovocitos es observado, lo cual coincide con la madurez funcional. Esto se ha visto en *O. hubbsorum* (Pliego-Cárdenas *et al.*, 2011) y otras especies como *Loligo gahi* (Laptikhovsky y Arkhipkin, 2001), *Loligo bleekeri*

(Baeg *et al.*, 1993). Olivares-Paz *et al.* (2001) y Rodríguez-Rúa *et al.* (2005) mencionan que la acumulación de vitelo en los ovocitos, da como resultado que éstos aumenten considerablemente su tamaño y por consiguiente el tamaño del ovario, el cual comúnmente es utilizado en las escalas macroscópicas e índices de madurez.

8.6 Número de espermatozoides

En *O. hubbsorum* se observó un incremento en el número de espermatozoides, conforme se acerca la temporada reproductiva. La presencia de espermatozoides en el saco de Needham, es un indicio de que el animal se encuentra sexualmente maduro (Hernández-García, 2002; López-Uriarte y Ríos-Jara, 2009), evidenciando que a mayor talla, mayor tamaño y número de espermatozoides, por consiguiente mayor número de espermatozoides (Boyle y Knobloch, 1984; Cortez *et al.*, 1995). Sin embargo, en este estudio la talla (LMD) no fue significativamente diferente entre los meses, excepto por noviembre de 2008 ($H = 69.5$, $P = 0.000$). Por otra parte, Voight (2009) menciona que la capacidad de las hembras de copular con múltiples machos antes de desovar, desencadena una fuerte competencia entre espermias, lo que lleva a los machos a incrementar el número de espermatozoides durante la temporada reproductiva con la finalidad de fecundar la mayor cantidad de hembras posibles.

8.7 Glándula oviductal

Las hembras almacenan espermatozoides en las glándulas oviductales por un tiempo antes de la fertilización y el desove, lo cual es una cuestión común en cefalópodos (Rodríguez-Rúa, 2005). En todas las hembras de *O. hubbsorum* se observaron espermatozoides en las espermatecas de las glándulas oviductales, incluso en aquellas hembras inmaduras, lo que implica que ya se habían apareado al menos una vez en su vida (Froesch y Marthy, 1975; Castellanos-Martínez, 2008). Bravo-Olivas (2008) atribuye que el incremento de las glándulas oviductales ocurre principalmente por acumulación de huevos que ya han sido fertilizados y son recubiertos por algún tipo de pegamento

(mucopolisacaridos y mucoproteinas) con el cual se adhieren al sustrato (Froesch y Marthy, 1975).

8.8 Distribución de tallas y pesos

La cantidad de organismos capturados durante el periodo de muestreo confirma que en ese sitio existe una población establecida de *O. hubbsorum*. La talla de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena B.C.S. varió entre 50 y 220 mm de LMD (media= 120.58) y entre 280 y 1020 mm de LT (media =554.54). El peso total varió entre 89.1 y 3705 g (media=766.6) (Tabla V).

Tabla V. Rango de tallas de *Octopus hubbsorum* reportadas en diferentes localidades de su rango de distribución. El promedio está entre paréntesis cuando éste fue disponible. PT=peso total, LMD=longitud del manto dorsal y LT= longitud total.

	Localidad	PT(g)	LMD (cm)	LT(cm)	Referencia
Costas del Golfo de California	Bahía de los Ángeles (28° 58' N, 113° 29' W)	70-2470 (586.3)	41-230 (99.9)	160-950 (447.2)	López-Urriarte (2006)
	Bahía San Carlos (27° 56' N, 111° 01' W)		48 50-70 ~90	270	Berry (1953) Brusca <i>et al.</i> (1980) Roper <i>et al.</i> (1995)
	Bahía de Loreto (25° 59' N, 111° 16' W)	210-1108 (516)		258-790 (526)	Bravo-Olivas (2008)
	Isla Espíritu Santo (24° 24' N 110° 21' W)	26.8-1400		120-650	Pliego-Cárdenas <i>et al.</i> (2011)
Costa Pacífico	Bahía Magdalena (24° 37' N 112° 07' W)	89.1-3705 (766.6)	50-220 (120.6)	280- 1020 (554.5)	Present study
	Bahía de Puerto Ángel (15° 40' N, 96° 29' W)	160-1020	40-190		Alejo-Plata <i>et al.</i> (2009)

En la tabla V se presentan los rangos de tallas y pesos de *O. hubbsorum* reportados en diferentes localidades a lo largo de su distribución. Los datos de la isla Espíritu Santo y las Bahías de Loreto y Puerto Ángel provienen de muestreos masivos (n= 230, 281 y 352, respectivamente), los de Bahía de Los Ángeles son datos de la pesquería artesanal, mientras que los datos de Bahía San Carlos provienen de muestreos de pocos organismos (n= 2). Se observa que los valores de longitud y peso de especímenes de *O. hubbsorum* de Bahía Magdalena representan las mayores tallas reportadas previamente, seguidas por los organismos capturados en Bahía de Los Ángeles, en el Golfo de California.

Las diferencias intraespecíficas de tamaño entre localidades se han divulgado para muchas taxas. Rensch (1938) encontró que los animales de una determinada especie que viven en regiones frías son generalmente más grandes que los que viven en regiones cálidas. Estudios más recientes también han demostrado la misma tendencia en algunas taxas de invertebrados (Cushman *et al.*, 1993; Atkinson, 1994; Arnett y Gotelli, 1999; Porter y Hawkins, 2001; Ashton, 2002). La hipótesis para explicar lo anterior se basa en que se ha afirmado que el clinal de tallas puede ser el resultado de diferencias en la productividad primaria de algunas regiones (Rosenzweig, 1968; Geist, 1987), o de diferencias en la predictibilidad ambiental, lo que lleva a mejorar la supervivencia de animales grandes en regiones frías (McNab, 1999; Meiri y Tamar, 2003).

Por otro lado, la temperatura y la disponibilidad del alimento son consideradas las principales causas de la variación interespecífica en la tasa de crecimiento de muchas especies animales (Griffiths y Griffiths, 1987). En cefalópodos, la temperatura es un factor importante que regula su tasa metabólica (Farías *et al.*, 2009). Con respecto a esto, se ha divulgado que la tasa metabólica de *O. vulgaris* disminuye con el aumento de la temperatura (Farías *et al.*, 2009), mientras que el consumo de oxígeno y la excreción de amoníaco aumentan (Katsanevakis *et al.*, 2005), lo que podría afectar negativamente su crecimiento, como se ha documentado en los bivalvos (Albentosa *et al.*, 1994). Además, se ha encontrado que especies de cefalópodos de zonas frías son metabólicamente más eficientes (es decir, tiene un crecimiento más rápido) que las especies tropicales, lo que sugiere que presentan adaptaciones fisiológicas que les permiten explotar al máximo las condiciones ambientales a través del año a pesar de las bajas temperaturas (Farías *et al.*, 2009).

Considerando que Bahía Magdalena es una zona geográfica templada (Briggs, 1974) con temperaturas máximas entre 23.5°C y 26.6°C (Lluch-Belda *et al.*, 2000) y con una productividad primaria alta (Contreras-Espinosa, 1993; Gómez-Gutiérrez *et al.*, 2001; Lluch-Belda *et al.*, 2000), una posible explicación del gran tamaño de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena es que su tasa de crecimiento está siendo favorecida por dichas características del hábitat. En contraste, Bahía de Puerto Ángel es una zona tropical, mientras que el Golfo de California es una zona de transición tropical-subtropical (Hendrickx *et al.*, 2005), con temperaturas máximas de 30°C (Villalejo-Fuerte *et al.*, 2004) y son localidades donde se reportan tallas menores. Contradictoriamente, el segundo mayor tamaño para *O. hubbsorum* fue reportado en Bahía de Los Ángeles, Golfo de California (López-Uriarte, 2006), sin embargo este sitio es también una zona de alta productividad primaria (Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 1997), y aunque se alcanzan temperaturas máximas de 30°C, su media anual es persistentemente más baja que la de otros sitios del golfo (Alvarez-Borrego, 1983; Badan-Dangon *et al.*, 1985) pues alcanza temperaturas mínimas de 16°C (Yee-Duarte *et al.*, 2009).

8.9 Tipo de crecimiento

Octopus hubbsorum en Bahía Magdalena es una especie que presenta un tipo de crecimiento alométrico negativo; los machos alcanzan un mayor peso a una longitud menor que las hembras. Un crecimiento alométrico es cuando diferentes partes del cuerpo crecen en proporciones distintas. En general este tipo de crecimiento en cefalópodos es el más común (Boyle y Rodhouse, 2005). *O. hubbsorum* tiene una tendencia a aumentar más en longitud que en peso, siendo más pesados los machos que las hembras. El crecimiento alométrico negativo de *O. hubbsorum* ya había sido reportado por López-Uriarte (2006). Hernández-López (2000) observó que los machos de *O. vulgaris* son más pesados a una determinada talla, posiblemente por las elevadas tasas de digestión, una estructura corporal más robusta, consecuencia de su mayor actividad por la búsqueda de hembras. Las hembras por su parte, emplean más energía en su proceso de reproducción reduciendo hasta en un 50% su dieta dos semanas antes de la puesta de sus huevos (Hanlon, 1983). El crecimiento

se ve influenciado por otros factores como la temperatura, la madurez sexual y la disponibilidad de alimentos (Mangold y Boletzky, 1973; Laporati *et al.*, 2008).

8.10 Talla de madurez

El tamaño en el cual el 50% de las hembras de *O. hubbsorum* alcanzan la madurez en Bahía Magdalena es de 119 mm LMD y de 628 g PT. Estas medidas son similares a las reportadas anteriormente para esta especie: 115 mm LMD y 758 g PT en las costas de Jalisco (López-Uriarte y Ríos-Jara, 2009), 686 g PT en Isla Espíritu Santo (Pliego-Cárdenas *et al.*, 2011) y 162 mm LMD en las costas de Oaxaca (Alejo-Plata *et al.*, 2009). La talla de madurez, es una táctica reproductiva muy lábil, por lo que puede variar incluso para la misma especie como resultado de la influencia de factores ambientales como la temperatura o disponibilidad de alimento, los cuales a su vez afectan la tasa de crecimiento.

8.11 Progresión modal

La población de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena presenta una alternancia de generaciones, la primera generación es de diciembre a mayo y la segunda de febrero a septiembre, ambas generaciones finalizan con fases de desove. López-Uriarte (2006) encontró que tanto hembras como machos presentan al menos cuatro modas persistentes en 18 meses de muestreo, determinando que la población de *O. hubbsorum* en las costas de Jalisco puede presentar hasta nueve cohortes de las cuales siete son evidentes en doce meses. La alternancia de generaciones también se ha reportado para *O. bimaculatus* (Ambrose, 1988; Castellanos-Martínez, 2008). Ambrose (1988) menciona que la población de pulpos adultos se ve afectada por el evento reproductivo ya que generalmente hembras y machos mueren después del periodo reproductivo y a su vez es compensada por el reclutamiento de organismos jóvenes que ingresan a la población adulta. Krstulović-Šifner y Vrgoć, (2009) menciona que la existencia de un periodo largo de desove (en este caso mediados de primavera-mediados de otoño) da como resultado la presencia de varias micro-cohortes que se reclutan a través del año. Esto explica la presencia de organismos con tallas pequeñas durante todo el año en Bahía Magdalena.

Sin embargo el bajo numero de muestras analizadas en el presente estudio (n=300), hace posible una sub-estimación del numero de cohortes en la alternancia de generaciones de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena. Sobre todo si se compara con el análisis realizado en las costas de Jalisco (n=6000), en el que se determinan siete cohortes por año (López-Uriarte, 2006).

IX. Conclusiones

- Es la primera vez que se registra *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena B.C.S (24° 37' N Y 112° 07' W) lo que amplía su rango de distribución geográfica en aproximadamente 320 km de línea de costa desde Cabo San Lucas B.C.S. (lugar donde se tiene el registro más cercano).
- La estructura de tallas de *Octopus hubbsorum* en Bahía Magdalena B.C.S durante noviembre 2008-2009 mantuvo un rango entre 50 y 220 mm de LMD con un promedio 120.58 ± 1.74 mm LMD y pesa entre 89.1 y 3705 g con un promedio de 766.6 ± 30.33 g.
- La talla máxima de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena B.C.S fue de 220 mm LMD y 3705 g, la cual es mayor a la reportada anteriormente.
- La proporción sexual anual no fue diferente de 1:1; sin embargo, se encontró una mayor proporción de hembras en el periodo noviembre 2008-abril 2009, mientras que cuando la temporada reproductiva es evidente (mayo 2009-noviembre 2009), la proporción de hembras disminuye.
- La época reproductiva de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena abarca de mayo a octubre (mediados de primavera a mediados de otoño) y es evidente cuando la temperatura comienza incrementarse de 17 °C a 27 °C.
- El desarrollo de la gónada descrito por estadios de ovocitos que se propone en este estudio para *O. hubbsorum* es el primero en documentarse para el Pacífico mexicano y define claramente tanto la temporada reproductiva, como la transición de una madurez fisiológica a una madurez funcional, así como el tipo de desarrollo del ovario.

- La gónada de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena presentan un tipo de desarrollo de grupos-sincrónicos (por estadios de ovocitos), con una madurez fisiológica y una madurez o vitelogénesis funcional.
- Los índices gonadosomático y de madurez, en hembras, coinciden con la temporada reproductiva, el inicio de la madurez funcional y se relacionan correctamente con el diámetro de los ovocitos y en menor grado con el índice de la glándula oviductal. En el caso de los machos no es clara la relación de los índices gonadosomático y de madurez con las fases de desarrollo pero si de éstas con el número de espermatozoides.
- Los machos de *O. hubbsorum* (n=150) provenientes de Bahía Magdalena tienen un promedio de 52 ± 2.40 espermatozoides con un mínimo de 4 y un máximo de 142. El número de espermatozoides incrementa durante la temporada reproductiva.
- La glándula digestiva muestra un aumento en peso durante las primeras fases de desarrollo como posible acumulación energética y una disminución durante la fase de post-desove que puede deberse a la utilización de recursos energéticos (proteínas y lípidos) como respuesta a la inanición durante el periodo de puesta y cuidado de los huevos, más que al desarrollo de los ovocitos.
- Las hembras de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena alcanzan la madurez cuando tienen 120 mm LMD y 630 g de peso total. En el caso de los machos no se observaron organismos inmaduros debido a su precocidad (talla por debajo de las obtenidas), por lo que definir una talla y peso de madurez con estos datos podría sobreestimarla.
- La presencia de una alternancia de 2 o más generaciones de *O. hubbsorum* en Bahía Magdalena es evidente, aunque en el presente estudio se considera como una sub-estimación debido al número de muestras empleado en el análisis y a los registros previos de la especie en las costas de Jalisco.

- El presente estudio generó dos puntos importantes para el manejo pesquero de *O. hubbsorum*: 1) se puede sugerir una talla mínima de captura superior a la talla madurez (120 mm de LMD y 600 g de peso total, con viseras), y 2) una temporada de veda durante el evento reproductivo (junio-octubre). Sin embargo, estas medidas solo deben ser consideraras para la región de Bahía Magdalena pues son distintas de las reportadas en otras regiones del Pacífico mexicano; se ha observado que las condiciones ambientales de cada región influyen en la plasticidad del crecimiento y su condición reproductiva (Cortez *et al.*, 1995; Defeo y Castilla, 1998). Este tipo de información contribuye a determinar la futura sustentabilidad de un recurso pesquero (Oosthuizen, 2004), sin embargo aún es necesario implementar medidas como cuotas de captura y protección de áreas o zonas de refugio, que en conjunto con una estrategia de manejo experimental y una asignación de concesiones pesqueras (propiedad territorial) formen una aproximación precautoria (Defeo y Castilla, 1998).

X. Literatura citada

- Aguilar, S. C. & E. Godínez-Domínguez. 1995. Presencia del pulpo *Octopus hubbsorum* (Cephalopoda: Octopoda) en el Pacífico central mexicano. *Rev. Biol. Trop.* 45 (3): 678.
- Aguirre-Behena, F., Cervantes-Duarte, R. & F. Barrera-González. 2002. Variación espacio-temporal de materia particulada suspendida en el complejo lagunar bahía Magdalena-Almejas, BCS, México. XIII Congr. Nal. Ocean Puerto Vallarta, México.
- Albentosa, M., Beiras, R. & A. Pérez-Camacho. 1994. Determination of optimal thermal conditions for growth of clam (*Venerupis pullastra*) seed. *Aquaculture.* 126:315–328.
- Alejo-Plata, M., Gómez-Márquez, J. L., Ramos-Carrillo, S. & J. E. Herrera-Galindo. 2009. Reproducción, dieta y pesquería del pulpo *Octopus hubbsorum* (Mollusca: Cephalopoda) en la costa de Oaxaca, México. *Rev. Biol. Trop.* 57 (1-2): 63-78.
- Alvarez-Borrego, S. 1983. Gulf of California. en: Ketchum, B. H., editor. *Estuaries and enclosed seas.* Amsterdam. Elsevier Press. p. 427–449.
- Arnett, A. E. & N. J. Gotelli. 1999. Geographic variation in life history traits of the ant lion, *Myrmeleon immaculatus*: evolutionary implications of Bergmann's rule. *Evolution.* 53:1180–1188.
- Ashton, K. G. 2002. Do amphibians follow Bergmann's rule? *Can. J. Zoo.* 80:708–716.
- Atkinson, D. 1994. Temperature and organism size – a biological law for ectotherms? *Adv. Ecol. Res.* 25:1–58.
- Ambrose, R. F. 1988. Population dynamics of *Octopus bimaculatus*: influence of life history patterns, synchronous reproduction and recruitment. *Malacologia* 29 (1): 23-39.
- Anderson, R. C., Wood, J. B. & R. A. Byrne. 2002. Octopus Senescence: the Beginning of the end. *J. Appl. Anim. Welfare Sci.* 5 (4): 275-283.

- Arkhipkin, A. I. 1992. Reproductive system structure, development and function in cephalopods with a new general scale for maturity stages. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 12: 63-74.
- Armendáriz-Villegas, E. J. 2008. Ecología trófica de *Octopus bimaculatus* Verril, 1883 (cephalopoda: Octopodidae) en bahía de los Ángeles, B.C., México. Tesis de maestría CICIMAR-IPN. 110pp.
- Armenta-Camacho, R., Cataño-García, A. & L. A. Rojas-Barron 1992. Determinación y abundancia de juveniles de *Octopus sp.* en el zooplancton (1989,1990 y1991) de la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. Memoria de biólogo pesquero. Escuela de ciencias del mar. UAS. 68pp.
- Avila-Poveda, O. E., Colin-Flores, R. F. & C. Rosas. 2009. Gonad development during early life of *Octopus maya* (Mollusca: Cephalopoda). *Biol. Bull.* 216: 94-102.
- Badan-Dangon, A., Koblinsky, C. J. & T. Baumgartner. 1985. Spring and Summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. *Oceanol. Acta.* 8(1):13–22.
- Baeg, G. H., Sakuray, Y. & K. Shimazaki. 1993. Maturation processes in female *Loligo bleekeri* Keferstein (Mollusca: Cephalopoda). *The Veliger*, 36: 228-235.
- Barber, B. J. & N. J. Blake. 1983. Growth and reproduction of the bay scallop, *Argopecten irradians* (Lamarck), at its southern distributional limit. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 66: 247–256.
- Berry, S. S. 1953. Preliminary diagnosis of six west American species of Octopus. Leaflets in Malagology. 1 (10) 51-58.
- Boletzky, S. V., *Sepia officinalis* 1983. En Boyle, P. R. Cephalopods life cycles, Species Accounts. Academic Press. U. K. 1 (21):157.200pp.
- Boyle, P.R. & D. Knobloch. 1984. Male reproductive maturity in the octopus, *Eledone cirrhosa* (Cephalopoda: Octopoda). *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 64:573-579.
- Boyle, P. R. & P. G. Rodhouse. 2005. Cephalopods. Ecology and Fisheries. Blackwell Science Ltd. Oxford. 452 p.
- Bravo-Olivas, M. L. 2008. Aspectos reproductivos del pulpo *Octopus hubbsorum* Berry, 1953 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. 87 p.
- Briggs, J. C. 1974. Marine Zoogeography. New York. McGraw Hill.
- Brusca, R.C. 1980. Common Intertidal invertebrates of the Gulf of California. Second Edition. The University of Arizona Press. E.U.A., 513 pp.
- Cardoso, F., Villegas, P. & C. Estrella. 2004. Observaciones sobre la biología de *Octopus mimus* (Cephalopoda: Octopoda) en la costa peruana. Rev. Peru. Biol., 11(1):45-50.
- Castellanos-Martínez, S. 2008. Reproducción del pulpo *Octopus bimaculatus* Verrill, 1883 en Bahía de los Ángeles, Baja California, México. Tesis de maestría CICIMAR-IPN. 82pp.
- Chen, Y., Jackson, D. A. & H. H. Harvey. 1992. A comparison of von-Bertalanffy and polynomial functions in modeling fish growth data. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49 (6): 1228-1235.
- Contreras-Espinoza, F. 1993. Ecosistemas Costeros Mexicanos. México. CONABIO.
- Cortez, T., Castro, B. G. & A. Guerra. 1995. Reproduction and condition of female *Octopus mimus* (Mollusca: Cephalopoda). Mar. Biol., 123: 505-510.
- Cushman, J. H., Lanton, J. H. & B. F. J. Manly. 1993. Latitudinal patterns in European ant assemblages: variation in species richness and body size. Oecologia, 95:30–37.
- Delgadillo-Hinojosa, F., Gaxiola-Castro, G., Segovia-Zavala, J. A., Muñoz-Barbosa, A. & M. V. Orozco-Borbón. 1997. The effect of vertical mixing on primary production in a Bay of the Gulf of California. Estuar. Coast. Shelf. S. 45:135–148.
- Defeo, O. & J. C. Castilla. 1998. Harvesting and economic patterns in the artisanal *Octopus mimus* (Cephalopoda) fishery in a northern Chile cove. Fish. Res. 38: 121–130.
- Dowdy, S. & S. Wearden. 1991. Statistics of Research. Wiley and Sons, New York, 270-273 p.
- Farías, A., Uriarte, I., Hernández, J., Pino, S., Pascual, C., Cammal, C., Domínguez, P. & C. Rosas. 2009. How size relates to oxygen consumption, ammonia excretion, and ingestion rates in cold (*Enteroctopus megalocyathus*) and tropical (*Octopus maya*) octopus species. Mar. Biol. 156:1547–1558.
- Funes-Rodríguez, R., Gómez-Gutiérrez, J. & R. Palomares-García. 2007. Estudios ecológicos en Bahía Magdalena. IPN. 311pp.

- Froesch, D. & H. J. Marthy. 1975. The structure and function of the oviductal gland in the octopods (Cephalopoda). *Proc. R. Soc. Lond. B.*, 188: 95-101.
- Gabbott, P. A. & B. L. Bayne. 1973. Biochemical effects of temperature and nutritive stress on *Mytilus edulis* L. *J. Mar. Biol. Assoc.* 53:269–286.
- Geist, V. 1987. Bergmann's rule is invalid. *Can. J. Zoo.* 65:1035–1038.
- Gómez-Gutiérrez, J. & C. J. Robinson. 2006. Tidal current transport of epibenthic swarms of the euphausiid *Nyctiphanes simplex* in a shallow subtropical bay in Baja California Sur, México. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 320: 215-231.
- Gómez-Gutiérrez, J., Palomares-García, R., Hernández-Trujillo, S. & A. Carballido-Carranza. 2001. Community structure of zooplankton in the main entrance of Bahía Magdalena, México during 1996. *Rev. Biol. Trop.* 49: 545–558.
- González-Rendón- R., B. Mejía-Sarmiento, Lizárraga-Castañeda, F. & S. Lizárraga-Ortíz. 1990. Artes y métodos de captura para el pulpo en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa. Memoria de servicio social. Universidad Autónoma de Sinaloa. 51 p.
- Grant, A. & P. A. Tyler. 1983. The analysis of data in studies of invertebrate reproduction. II. The analysis of oocyte size/frequency data, and comparison of different types of data. *Int. J. Invertebr. Rep.*, 6: 259-269.
- Griffiths, C. L. & J. S. Griffiths. 1987. Bivalvia. In: Pandian JH, Vernberg FJ.Editors. *Animals Energetics*. Vol. 2. New York. Academic Press. p. 1–88.
- Guerra, A. 1975. Determinación de las diferentes fases del desarrollo sexual de *Octopus vulgaris* Lamarck, mediante un índice de madurez. *Investigaciones Pesqueras*, 39 (2): 397-416.
- Haddon, M. 2001. *Modelling and quantitative methods in fisheries*. Chapman y Hall/CRC, Boca Raton, EUA. 405pp.
- Hanlon, R. T. 1983. *Octopus briareus*. En Boyle, P. R. *Cephalopods life cycles, Species Accounts*. Academic Press. U. K. 1 (21):157.200pp.
- Hendrickx, E. M., Brusca, R. C. & L. T. Findley. 2005. A distributional Checklist of the Macrofauna of the Gulf of California, México. Part I Invertebrates. Arizona-Sonora Desert Museum and Conservation International.

- 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-González, J. P. 2006. Abundancia de paralarvas de pulpo (*Octopus spp.*) en la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México durante 2005-2006. Tesis de licenciatura biología pesquera. Facimar. UAS. 59pp.
- Hernández-López, J. L. 2000. Biología, ecología y pesca del pulpo común ("*Octopus vulgaris*", Cuvier 1797) en aguas de Gran Canaria. Tesis de Doctorado. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. 197 pp.
- Hochberg, F. G. 1980. Class Cephalopoda. P. 201-204. En: Brusca, R. C. *Common Intertidal Invertebrates of the Gulf of California*. Univ. Ariz. Press, Tucson. 513pp.
- Humason, L. G. 1979. *Animal Tissue Techniques*. W. H. Freeman y Co. San Francisco. 661 p.
- Katsanevakis, S., Stephanopoulou, S., Miliou, H., Moraitou-Apostolopoulou, M. & G. Verriopoulos. 2005. Oxygen consumption and ammonia excretion of *Octopus vulgaris* Cuvier (Cephalopoda) in relation to body mass and temperature. *Mar. Biol.* 146: 725-732.
- Krstulović-Šifner, S. & N. Vrgoč. 2009. Reproductive cycle and sexual maturation of the musky Octopus *Eledone moschata* (Cephalopoda: Octopodidae) in the northern and central Adriatic Sea. *Sci. Mar.* 73 (3): 439-447.
- Laptikhovsky, V. V. & A. I. Arkhipkin. 2001. Oogenesis and gonad development in the cold water loliginid squid *Loligo gahi* (Cephalopoda: Myopsida) on the Falkland shelf. *J. Moll. Stud.* 67: 475-482.
- Leyva-Villarreal, M.M., S.A. Osuna-Marroquín, A. L. Ley-Montoya, Cervantes-Galaviz, F. & J.A. Quiñonez-Cruz. 1987. Contribución al conocimiento biológico del pulpo *Octopus sp.* en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. Memoria de servicio social. Universidad Autónoma de Sinaloa. 73 p.
- Leporati, C.S., G. T. Pecl & J. M. Semmens. 2008. Reproductive status of *Octopus pallidus*, and its relationship to age and size. *Mar. Biol.* 155: 375-385.
- Lodeiros, C. J., Rengel, J. J., Guderley, H., Nusetti, O. A. & J. H. Himmelman. 2001. Biochemical composition and energy allocation in the tropical scallop *Lyropecten*

- (*Nodipecten*) *nodosus* during the months leading up to and following the development of gonads. *Aquaculture* 199: 63–72.
- López-Uriarte, E. & E. Ríos-Jara. 2009. Reproductive biology of *Octopus hubbsorum* (MOLLUSCA: Cephalopoda) along the central Mexican Pacific Coast. *Bull. Mar. Sci.* 84 (1): 109-121.
- 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. 194 p.
- López-Uriarte, E., E. Ríos-Jara & M. Pérez-Peña. 2005. Range extension for *Octopus hubbsorum* Berry 1953 (Mollusca: Octopodidae) in the Mexican Pacific. *Bull. Mar. Sci.*, 7 (2): 171-176.
- López-Uriarte, E., Ríos-Jara, E. & M. E. González-Rodríguez. 2010. Diet and feeding habitats of *Octopus hubbsorum* Berry, 1953, in the Central Mexican Pacific. *The Veliger*. 51 (1): 26-42.
- Lluch-Belda, D., M. E. Hernández-Rivas, R. Saldierna-Martínez & R. Guerrero-Caballero. 2000. Variabilidad de la temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena, B.C.S. *Oceanides* 15: 1-23.
- Mangold, K. 1983. *Octopus vulgaris*. En Boyle, P. R. *Cephalopods life cycles, Species Accounts*. Academic Press. U. K. 1 (21):157.200pp.
- Mangold, K. & S. von Boletzky. 1973. New Data on Reproductive Biology and Growth of *Octopus vulgaris*. *Mar. Biol.*, 19: 7-12.
- McNab, B. K. 1999. On the comparative ecological and evolutionary significance of total and mass-specific rates of metabolism. *Physiol. Biochem. Zool.* 72:642–644.
- Meiri, S. & D. Tamar. 2003. On the validity of Bergmann's rule. *J. Biogeogr.* 30:331–351.
- Moltschaniwskyj, N. A, & J. M. Semmens. 2000. Limited use of stored energy reserves for reproduction by the tropical loliginid squid *Photololigo* sp. *J. Zoo.* 251: 307–313.
- Norma Oficial Mexicana NOM-008-PESC-1993. Para ordenar el aprovechamiento de las especies de pulpo en las aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y mar Caribe. 3pp.
- Norman, M. D. & F. G. Hochberg. 2005. The current status of octopus taxonomy. *Phuket Mar. Biol. Cent. Res. Bull.*, 66: 127-154.

- Olivares-Paz, A., Zamora-Covarrubias, M., Portilla-Reyes, P. & O. Zúñiga-Romero, 2001. Histological study of oogenesis and ovaric maturation in *octopus mimus* (cephalopoda: octopodidae) from the coast of the II region, Chile. *Estud. Oceanol.* 20: 13-22.
- Oosthuizen, A. 2004. Economic feasibility of an experimental octopus fishery in South Africa. *South Afr. J. Sci.* 100: 595–602.
- Otero, J., A.F. González, Sieiro, M.P. & A. Guerra. 2007. Reproductive cycle and energy allocation of *Octopus vulgaris* in Galician waters, NE Atlantic. *Fish. Res.*, 85: 122–129.
- Pascual, S., Rocha, F. & A. Guerra. 2006. Gross lesions in the Hubb Octopus *Octopus hubbsorum*. *Mar. Biol. Res.* (2): 420-423.
- Pazos, A. J., Román, G., Acosta, C. O., Abad, M. & J. L. Sánchez. 1997. Seasonal changes in condition and biochemical composition of the scallop *Pecten maximus* L. from suspended culture in the Ria de Arousa (Galicia, NW Spain) in relation to environmental conditions *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 211: 169–193.
- Pliego-Cárdenas, R., García-Domínguez, F. A., Ceballos-Vázquez, B. P., Villalejo-Fuerte, M. & M. Arellano-Martínez. 2011. Aspectos reproductivos de *Octopus hubbsorum* (Cephalopoda: Octopodidae) en la Isla Espíritu Santo, Golfo de California, México. *Cienc. Mar.* 37 (1): 23–32.
- Porter, E. E. & B. A. Hawkins. 2001. Latitudinal gradients in colony size for social insects: termites and ants show different patterns. *Am. Nat.* 157:97–106.
- Quetglas, A., González M. & I. Franco. 2005. Biology of the upper-slope cephalopod *Octopus salutii* from the western Mediterranean Sea. *Mar. Biol.*, 146: 1131–1138.
- Rensch, B. 1938. Some problems of geographical variation and species formation. *Proc. Linn. Soc. Lond.* 150:275–285.
- Rocha, F., Guerra, A. & A.F. González. 2001. A review of reproductive strategies in cephalopods. *Biol. Rev.*, 76:291-304.
- Rodríguez-Mata, F. 1996. Aspectos biológicos y pesqueros del complejo *Octopus bimaculatus* Verrill, 1883 y *O. bimaculoides* Pickford y McConnaughey, 1949 (pulpos) de la Bahía de Zihuatanejo, Guerrero, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 64 p.

- Rodríguez-Rúa, I., M. A. Pozuelo, M. J. Prado, Gómez & M. A. Bruzón. 2005. The gametogenic cycle of *Octopus vulgaris* (Mollusca: Cephalopoda) as observed on the Atlantic coast of Andalusia (south of Spain). *Marine Biology*, 147 (4): 927-933.
- Roper, C. F. E., M. J. Sweeney & F. G. Hochberg. 1995. Cefalópodos. 306-353. En: Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter & V.H. Niem (Eds.). Guía FAO para la identificación para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental. Volumen I. Plantas e Invertebrados. Roma, Italia.
- Rosa, R., P. R. Costa & M. L. Nunes. 2004. Effect of sexual maturation on tissue biochemical composition of *Octopus vulgaris* and *O. defilippi* (Mollusca: Cephalopoda). *Mar. Biol.* 145: 563-574.
- Rosa, R., P. R. Costa, N. Bandarra & M. L. Nunes. 2005. Changes in tissue biochemical composition and energy reserves associated with sexual maturation in the ommastrephid squid *Illex coindetti* and *Todaropsis eblance*. *Biol. Bull.* 208: 100-113.
- Rosenzweig, M. L. 1968. The strategy of body size in mammalian carnivores. *Am. Midl. Nat.* 80:299-315.
- Sánchez-Montante, O. 2004. Hidrodinámica y transporte de masa en el sistema lagunar de Bahía Magdalena-Bahía Almejas, Baja California Sur, México: modelación y experimentación. Tesis de Doctorado. CICIMAR-IPN.
- Sastry, A. N. & N. J. Blake. 1971. Regulation of gonad development in the bay scallop, *Aequipecten irradians* Lamarck. *Biol. Bull.* 149: 274-283.
- Sedlock, R. L. 2003. Geology and tectonics of the Baja California península and adjacent areas. *Geo. Soc. Am. Spec.* 374: 1-41.
- SEMARNAP. 2006. Anuario estadístico de Pesca 2006. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México, D. F. 219 p.
- Silva, L., Ramos, F. & I. Sobrino 2004. Reproductive biology of *Eledone moschata* (Cephalopoda: Octopodidae) in the Gulf of Cádiz (south-western Spain, ICES Division IXa). *J. Mar. Biol. Ass. U. K.* 84: 1221-1226.
- Vassallo, M. T. 1973. Lipid storage and transfer in the scallop *Chlamys hericia* Gould. *Comp. Biochem. Physiol.* 44A: 1169-1175.

- Voight, J. R. 2009. Differences in spermatophore availability among octopodid species (Cephalopoda: Octopoda). *Malacol.* 51: 143-153.
- Villalejo-Fuerte, M., Arellano-Martínez, M., Robles-Mungaray, M. & B. P. Ceballos-Vázquez. 2004. Notes on the growth, survival, and reproduction of the lion's paw scallop *Nodipecten subnodosus* maintained in a suspended culture. *Hidrobiologica* 14:161–165.
- Yee-Duarte, J. A., Ceballos-Vázquez, B. P. & M. Arellano-Martínez. 2009. Variación de los índices morfofisiológicos de la almeja mano de león *Nodipecten subnodosus* (Sowerby, 1835), en Bahía de los Ángeles, B.C., Golfo de California. *Oceánides*. 24(2): 91–99.
- Zar, J.H. 1974. *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall. New Jersey. 619 p.

XI. ANEXO I

11.1 Descripción citológica del desarrollo ovárico obtenida de Baeg *et al.* (1993) para *Loligo bleekeri*, Laptikhovskhi y Arhhipkin (2001) para *Loligo gahi* y Olivarez-Paz *et al.* (2001) para *Octopus mimus*.

Estadio 1 producción de ovogonias (Fig. 20A) 40x

El epitelio germinativo presenta ovogonias, ovocitos I y folículos primordiales. Las ovogonias secundarias tienen una vesícula germinal bien definida alrededor de una delgada capa de citoplasma pálido y un núcleo grande con material de cromatina disperso.

Estadio 2 foliculogénesis (Fig. 20B) 40x

Se pueden observar ovogonias y ovocitos en varios tamaños donde la capa folicular se desarrolla primero en el polo vegetativo del ovocito y comienza a multiplicarse formando uno o dos capas de células foliculares escamosas sobre la superficie del ovocito. El núcleo centralmente ubicado usualmente posee 1 o 2 nucléolos esféricos.

Estadio 3 multiplicación celular (Fig. 20C) 40x

El núcleo inicia su movimiento hacia el polo animal. Las células foliculares inician un arreglo columnar, incrementando en número y alrededor del ovocito completo. Cada ovocito en desarrollo está rodeado y sostenido por tejido conectivo. Vasos sanguíneos se observan sobre el epitelio folicular.

Estadio 4 formación glandular (Fig. 20D) 40x

El epitelio folicular inicia a penetrar el ovocito, formando pliegues foliculares para la posterior secreción de vitelo. También se encuentran folículos anteriores, ovogonias y ovocitos. El núcleo con una ligera forma elíptica está en el polo animal y los nucléolos algunas veces se observan.

Estadio 5 inicio de vitelogénesis (Fig.21E) 10x

El proceso de vitelogénesis inicia cuando el pliegue folicular ocupa la mayor parte del volumen del ovocito. Además se observan todos los estadios anteriores. Cuerpos vitelinos inician la aparición y son distribuidos aleatoriamente dentro del ovocito.

Estadio 6 vitelino (Fig.21F) 10x

Se observan todos los tipos de folículos precedentes pero no se distinguen ovogonias. El ovario es de tamaño medio a grande y se notan los folículos. El sincitio folicular está relacionado en la vitelogénesis y la formación del corion.

Estadio 7 final de vitelogénesis (Fig.21G) 10x

Comienza con la formación de los folículos vitelinos terminales. Los folículos primarios y secundarios son escasos, a diferencia de los que tienen vitelo. Incrementa el volumen del ovocito debido a la acumulación de vitelo y el sincitio folicular comienza a reducirse hacia la periferia. Los pliegues foliculares ocupan menos de la mitad del volumen del ovocito.

Estadio 8 maduración y ovulación (Fig.21H) 10x

Se completa la formación del corion. El sincitio folicular está experimentando una degeneración final. Ovocitos maduros están listos para ser liberados o ya han sido ovulados. Se inicia con la aparición de los folículos post-ovulatorios. Además se pueden observar folículos vitelinos terminales. El ovario se encuentra lleno de ovocitos en diferentes grados de acumulación de vitelo. No se observan ovogonias y ovocitos de estadios anteriores.

Estado 9 Post-desove (Fig.21H) 10x

Se observan únicamente folículos post-ovulatorios.

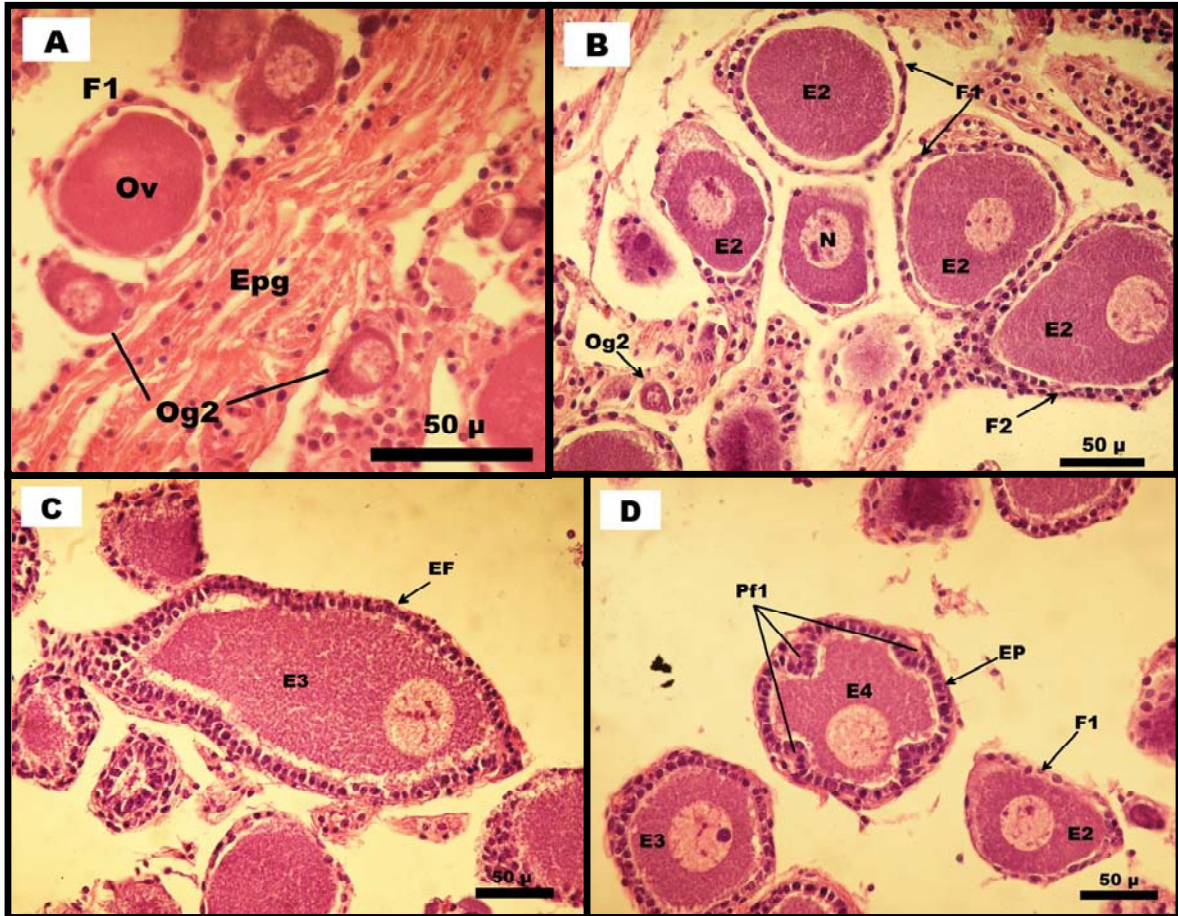


Figura 20. La figura A muestra el estadio 1 y se observa el epitelio germinativo (Epg) junto con ovogonias secundarias (Og2) y un ovocito (Ov) rodeado por células foliculares primarias (F1) 40x; en la figura B se observa el estadio 2 (E2) con ovocitos rodeados por células foliculares escamosas (F1) y el inicio de una segunda capa folicular (F2) en el polo vegetativo, también se observa que el núcleo (N) ha iniciado a moverse hacia el polo animal 40x; la figura C muestra el estadio 3 (E3) donde el núcleo en el polo animal es evidente y el epitelio folicular (EF) ya se ha formado en un arreglo columnar 40x; La figura D muestra el estadio 4 (E4) que se refiere al inicio de los pliegues foliculares (Pf1), también se observan los estadios anteriores (E2 y E3) 40x.



Figura 21. La figura E se observa el estadio 5 (E5) cuando la vitelogénesis inicia y los pliegues foliculares ocupan la mayor parte del ovocito (Pf2) 10x; la figura F muestra el estadio 6 (E6) y se observa el sincitio folicular formado y la acumulación de vitelo (V) en el ovocito 10x; la figura G muestra la fase final de la vitelogénesis el volumen del ovocito se incrementa por acumulación de vitelo y el sincitio folicular se reduce hacia la periferia (E7) 10x; La figura H muestra el estadio 8 (E8) donde el ovocito fue liberado y la formación de corion (C) esta completa también se observan foliculos post-ovulatorios (Fpo) que corresponden al estadio 9 10x.

11.2 Fases de madurez en machos propuestas por Rodríguez-Rúa *et al.* (2005) para *O. vulgaris*

Inmaduros

Los túbulos seminíferos están bien definidos pero aun pequeños. Espermatogonias están presentes en la pared del túbulo seminífero y unos pocos espermatoцитos en el centro del túbulo.

Desarrollo

Se observan espermatogonias, espermatoцитos y espermatídas y unos pocos espermatozoides en el túbulo seminífero (Fig. 2A)

Maduro

Los túbulos seminíferos son grandes y alargados. La presencia de espermatídas y espermatozoides es abundante en comparación con los tipos celulares anteriores (Fig. 2B).

Espermiación

Los túbulos seminíferos aun se encuentran grandes pero el lumen se encuentra vacío, lo que indica que los espermatozoides han sido liberados del testículo y fueron almacenados en los espermatóforos, los cuales son transportados al saco de Needham. Solo se observan espermatogonias y algunos espermatoцитos (Fig. 2C).

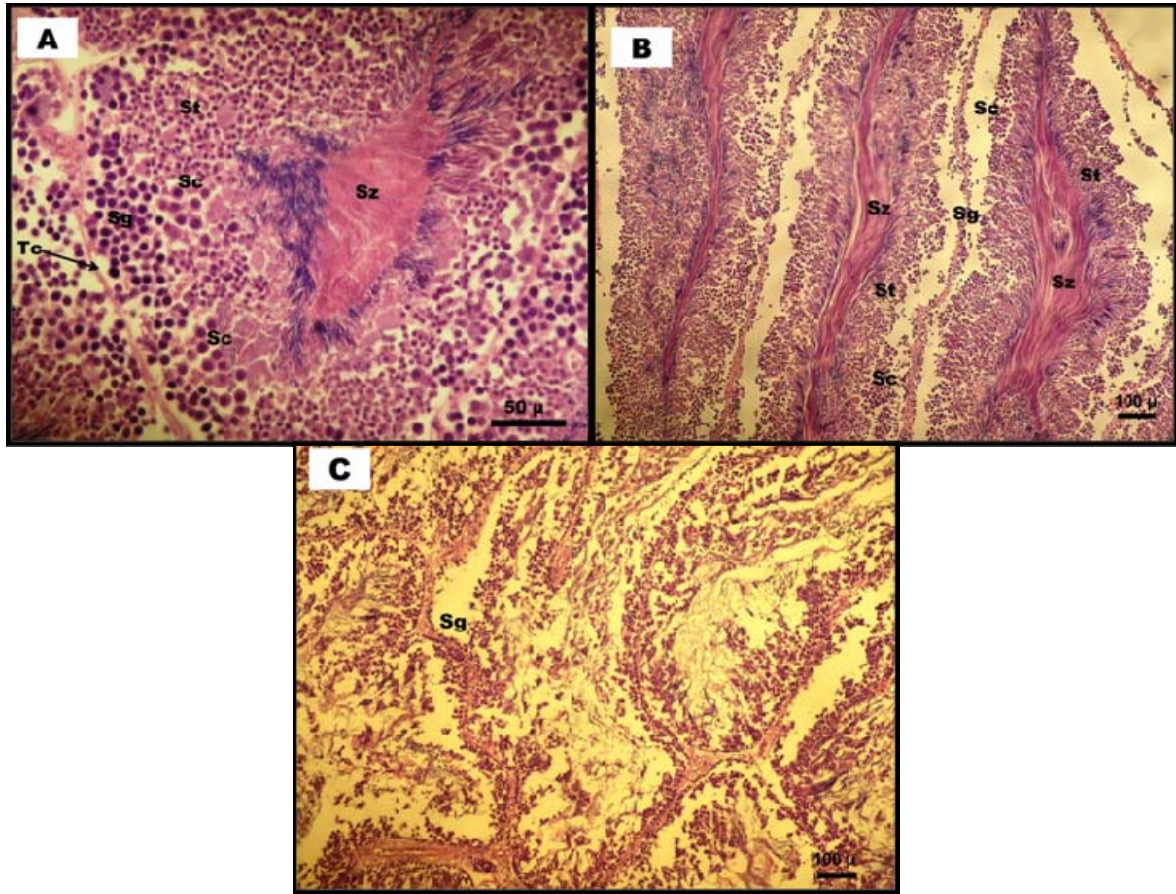


Figura 22. Fotomicrografías del desarrollo del testículo de *Octopus hubbsorum*. La figura A muestra la fase de desarrollo donde se observa claramente cuatro tipos de células (40x). La figura B muestra la fase de madurez donde los espermatozoides ocupan gran parte de los túbulos seminíferos (10x). La figura C muestra la fase de Espermiación cuando los espermatozoides han sido liberados y solo algunas espermatogonias son evidentes (10x). Tc= tejido conectivo, Sg= espermatogonias, Sc= espermatocitos, St= espermatidas y Sz= espermatozoides.