

Tesis defendida por  
**Miriam Lecuanda Ontiveros**  
y aprobada por el siguiente Comité

---

Dra. Mónica Hernández Rodríguez  
Codirector

---

Dra. Beatriz Cordero Esquivel  
Codirector

---

Dr. Benjamín Barón Sevilla  
Miembro del Comité

---

Dra. Bertha Lavaniegos Espejo  
Miembro del Comité

---

M en C. Diana Judith Lopez Peraza  
Miembro del Comité

---

Dra. Beatriz Cordero Esquivel

Coordinador del Programa de  
Posgrado en Ciencias en Acuicultura

---

Dr. Jesús Favela Vara

Director de Estudios de Posgrado

Enero de 2014

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA



---

Programa de Posgrado en Ciencias  
en Acuicultura

---

Preferencia térmica del pulpo *Octopus bimaculoides*

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias

Presenta:

Miriam Lecuanda Ontiveros

Ensenada, Baja California, México,  
2014

Resumen de la tesis de Miriam Lecuanda Ontiveros, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de Maestría en Ciencias en Acuicultura.

### Preferencia térmica del pulpo *Octopus bimaculoides*

Resumen aprobado por:



Dra. Mónica Hernández Rodríguez  
Codirector de Tesis



Dra. Beatriz Cordero Esquivel  
Codirector de Tesis

#### Resumen:

Los pulpos representan un recurso económico importante para el país, pero debido a su explotación, las poblaciones han disminuido, por lo que es necesario generar la información básica en especies con potencial para desarrollar el cultivo experimental. En este estudio se evaluó la preferencia térmica y la composición lipídica de *Octopus bimaculoides* en dos estadios de su ciclo de vida.

La preferencia térmica de *O. bimaculoides* se evaluó con el método gravitacional, el cual consistió en colocar a los organismos adultos en un gradiente de temperaturas (9 a 26°C) por 24 horas, simulando un ciclo diurno y nocturno de 12 horas cada uno. En los juveniles recién eclosionados, los experimentos se realizaron por el método agudo durante 4 horas. La temperatura preferida de los adultos y juveniles recién eclosionados fue alrededor de 16.0 °C, sin diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre estadios de desarrollo. Las hembras de esta especie seleccionaron una temperatura más alta que los machos (17.8 y 16.0°C respectivamente), lo que podría estar relacionado con el ciclo reproductivo de las hembras. La especie presentó un ritmo circadiano, seleccionando en el día un intervalo térmico de 17.2 a 18.3°C y en la noche de 14.7 a 16.7°C.

Para la composición de lípidos totales se analizaron juveniles del día 0 dde (sin exposición al gradiente) y expuestos al gradiente ( $n=5$ ), así como de los diferentes órganos (gónadas, glándula digestiva, brazo y manto) de hembras ( $n=2$ ) y machos ( $n=8$ ). Los juveniles recién eclosionados y los expuestos al gradiente térmico tuvieron un porcentaje de lípidos totales muy similar (9.0%) y en ambos casos el contenido lipídico fue mayor que en los diferentes órganos analizados en los adultos.

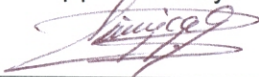
Esta información es el primer paso para continuar generando el conocimiento de la biología básica de esta especie encaminado en la búsqueda de las mejores condiciones para desarrollar su cultivo experimental.

Palabras clave: ***Octopus bimaculoides*, preferencia térmica, composición lipídica**

Abstract of the thesis presented by Miriam Lecuanda Ontiveros as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Aquaculture.

### Thermal preferences of *Octopus bimaculoides*

Abstract approvals by:



---

Dr. Mónica Hernández Rodríguez

Thesis Co-director



---

Dr. Beatriz Cordero Esquivel

Thesis Co-director

#### Abstract:

Octopus represent an important economic resource for our country, however, due to exploitation, their populations have diminished, therefore it becomes necessary to research basic information on species with a potential for experimental cultivation. In this study, the thermal preferences and lipidic composition of *Octopus bimaculoides* were evaluated throughout two stages of its lifecycle.

The thermal preference of *O. bimaculoides* was evaluated through the gravitational method, which consisted on placing adult organisms on a temperature gradient (9 to 26°C) for 24 hours, simulating a diurnal and nocturnal cycle of 12 hours each. At newly hatched juveniles, the experiments were performed with the acute method during 4 hours. The preferred temperature for adults and newly hatched juveniles was around 16.0 °C with no significant differences ( $P>0.05$ ) between developmental stages. Females of this species selected a higher temperature than males (17.8 and 16.6 °C respectively) which could be related to the female reproductive cycle. The species exhibited a circadian rhythm selecting a thermic range of 17.2 to 18.3 °C in daytime, and 14.7 to 16.7 °C nighttime.

For total lipidic composition, juveniles from day 0 (not exposed to the gradient) and exposed to the gradient were analyzed ( $n=5$ ), as well as different organs (gonads, digestive gland, arm and mantle) from females ( $n=2$ ) and males ( $n=8$ ). Newly hatched juveniles, and gradient exposed specimens had a very similar total lipids percentage (9.0%) and in both cases the lipidic percentage was higher than found on different analyzed organs from adults.

This information is the first step to continue to research on the basic biology of this species, focusing on finding the best conditions to develop its experimental cultivation.

Keywords: *Octopus bimaculoides*, thermal preference, lipidic composition.

**Dedicatoria:**

A mis papás Héctor y Lupita:  
mis dos grandes ejemplos de vida y amor incondicional  
este logro también es de ustedes, ya que han estado a mi lado en cada paso que  
he dado.

A Héctor, José Manuel, Lupita y Juan Pablito  
mis cuatro pilares  
cada uno a su manera me ha impulsado, ayudado y motivado en este viaje  
maravilloso de la investigación

A Nicolás:  
que con su sola presencia me alegra el día.

*La fuerza para enfrentar cualquier adversidad está en nosotros mismos y solo así  
**cualquier cosa puede pasar.***

**Agradecimientos:**

A Dios, por permitirme vivir esta experiencia con cada una de las personas que estuvo en este camino, las que dejó en mi vida y las que por mi bien me quitó, por permitirme estar en esta hermosa familia.

A CICESE por permitirme cumplir esta meta personal al realizar mi trabajo de tesis.

A CONACYT por la beca para la realización de mis estudios de Maestría.

Al apoyo económico brindado por el proyecto interno no. 623151 Indicadores biológicos de estrés en organismos acuáticos y su importancia en la acuicultura

A mis directoras de tesis, Mónica y Betty, por sus recomendaciones, consejos y sobre todo por la paciencia en este proyecto.

A los miembros del comité, Dra. Bertha Lavaniegos, Dr. Benjamín Barón y M. en C. Diana López, todos los consejos y aportaciones fueron muy valiosos para mi desarrollo académico y personal.

A los técnicos, Luis Murillo, Adrián Celaya, por su ayuda en las salidas de campo en la recolecta de pulpos, así como los buenos momentos de laboratorio, a Francisco Valenzuela, por la elaboración de los diagramas y por su ayuda en el mantenimiento de los pulpos, a Oscar, por ser tan buen compañero de laboratorio, a Don Mario, por cuidarme y estar pendiente de mí en las desveladas que pasaba en el laboratorio, a Marisol, Julia y a mi tocayita Miriam por su ayuda en la realización de mis experimentos, y por la amistad que se formó.

A las secretarias Cecy, Bibiana y Amparo, por su ayuda tan eficiente en todo lo relacionado con asuntos administrativos.

A Ivonne Best, por toda la ayuda en los trámites, y todo el entusiasmo para que se pudiera realizar la estancia de investigación en el extranjero, sin su ayuda hubiera sido casi imposible.

Al Dr. José Iglesias, por aceptarme y permitirme realizar la estancia de investigación en el Instituto Español de Oceanografía, campus Vigo, la cual me ayudó a crecer como persona, en conocimientos y abrirme a la cultura española, la cual me renovó como persona.

A Pepe, Juanjo y Javier, mis gallegos favoritos, muchas gracias por las maravillosas aportaciones que tan amablemente me brindaron, tanto en lo académico, como personal y sobre todo por hacerme creer que "todo es posible".

A los doctores que me impartieron clases, durante el primer año de Maestría.

A mis compañeros de generación Jorge, Roberto, Rigoberto (Gilberto), Pablito, Paul, David, Luis, Omar y en especial a las “sirenas de acuicultura” Araceli y Raquel, por todas las pláticas que tuvimos, la ayuda que me brindaron en mis experimentos, por la hora del “Te cuento” y por la bonita amistad que pudimos formar.

A mis UVAS, Merry, Monik, Cinhtya, Bere-nice, Ofe, Ari y sobre todo a Loopis (incluido Santiaguito), mis confidentes, mis amigas, mis cómplices y sobre todo mis palabras de ánimos cuando más decaída estaba.

A toda la gente que conocí en el transcurso de esta etapa de Ciencias de la Tierra, Óptica, Ciencias de la Vida, Ecología Marina y Ciencias Computacionales.

A mis amigos de la universidad, Carito, Lili, Faby, Normis, Ale, Edelyn, Ibes, Oskar, Aldo, Marco, Gaby y de manera muy especial a Danny y Alex, por su amistad a lo largo de todos estos años, sus palabras de ánimos, sus oídos atentos cuando más lo necesité, todas las salidas, visitas al laboratorio, develadas cuando me tocaban mis “experimentos de 24 horas”, estate quietos y hasta lloriqueos que les toco, agradezco enormemente toda su amistad.

A la gente tan linda que conocí en España: Cristina, Jorge, Javi, David, Xoana, Rebeca, Miguel, Lidia, Chus, Nuria, Monse, Cas, Jorge “gallego”, por todas las facilidades, por la amabilidad, y por hacerme sentir como en casa en mi paso por España.

## Tabla de contenido

	<b>Página</b>
Resumen en español	ii
Resumen en Inglés	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
Lista de Figuras	ix
Lista de Tablas	x
Capítulo 1. Introducción	
1.1 Generalidades	1
1.2 Ciclo de vida	2
1.3 Pesquería	3
1.4 Engorde de pulpo	5
1.5 Cultivo e investigación del pulpo en México	5
1.6 Temperatura	6
Capítulo 2. Hipótesis	12
Capítulo 3. Objetivos	
3.1 Objetivo general	13
3.2 Objetivos particulares	13
Capítulo 4. Materiales y Métodos	
4.1 Colecta de organismos	14
4.2 Mantenimiento de los organismos	15
4.3 Sistema para el estudio de la preferencia térmica	15
4.4 Estudio de preferencia térmica para adultos de <i>O.</i> <i>bimaculoides</i>	16
4.5 Estudio de preferencia térmica para juveniles de <i>O.</i> <i>bimaculoides</i>	17
4.6 Análisis de lípidos totales	17
4.7 Análisis estadístico	18
Capítulo 5. Resultados	
5.1 Estudio de preferencia térmica para adultos de <i>O.</i> <i>bimaculoides</i>	20
5.2 Estudio de preferencia térmica para juveniles de <i>O.</i> <i>bimaculoides</i>	23
5.3 Análisis de lípidos totales	23



Capítulo 6. Discusión	26
Conclusiones	33
Recomendaciones	34
Referencias bibliográficas	35

## Lista de figuras

<i>Figura</i>		<b>Página</b>
1	Ciclo de vida de <i>Octopus</i> sp.	3
2	<i>Octopus bimaculoides</i> Fotografía P.Z.Myers	10
3	Ubicación del sitio de colecta del pulpo <i>Octopus bimaculoides</i> en la Bahía de San Quintín, Baja California, Tomado de Delgado-González <i>et al.</i> (2012).	14
4	Sistema para la experimentación de la preferencia térmica de <i>Octopus bimaculoides</i> (Bücker <i>et al.</i> , 2003). Dibujo elaborado por Francisco Valenzuela.	16
5	Temperatura preferida de los machos del pulpo <i>Octopus bimaculoides</i> durante un ciclo de 24 horas. Mediana $\pm$ intervalo de confianza al 95%.	22
6	Temperatura preferida de las hembras del pulpo <i>Octopus bimaculoides</i> durante un ciclo de 24 horas. Mediana $\pm$ intervalo de confianza al 95%.	22
7	Temperatura preferida de juveniles <12hdde del pulpo <i>Octopus bimaculoides</i> en un periodo de 4 horas. Mediana $\pm$ intervalo de confianza al 95%	23
8	Porcentaje de lípidos totales en juveniles recién eclosionados no expuestos y expuestos al gradiente de temperaturas. Media $\pm$ desviación estándar.	24

## Lista de tablas

Tabla		Página
1	Parámetros fisicoquímicos registrados en los tanques de cultivo durante el periodo de mantenimiento de <i>Octopus bimaculoides</i> . Media $\pm$ desviación estándar.	20
2	Resultados de la prueba U de Mann- Whitney de la preferencia térmica de los adultos de <i>Octopus bimaculoides</i> según el sexo y las fases del fotoperiodo. Un registro por hora en 11 machos y 7 hembras.	21
3	Contenido de lípidos totales en los juveniles de <i>Octopus bimaculoides</i> <12 – 16hdde, no expuestos y expuestos al gradiente térmico.	24
4	Resultados de la prueba t de Student de lípidos totales en diferentes órganos de <i>Octopus bimaculoides</i> .	25
5	Resultados de la prueba U de Mann- Whitney de la comparación de la glándula digestiva entre machos y hembras de <i>Octopus bimaculoides</i> .	25

## Capítulo 1

---

### Introducción

El Phylum Mollusca se caracteriza por la gran diversidad morfológica. Este Phylum incluye a la clase Cephalopoda, que a su vez está dividida en dos subclases: Nautiloidea y Coleoidea (Brusca y Brusca, 1990). Los cefalópodos son invertebrados marinos, representados por los calamares, sepias, nautilus y pulpos. A diferencia de otros moluscos, en los cefalópodos la concha externa de calcio se ha reducido a una interna, como en los calamares y las sepias, e incluso los pulpos, la han perdido por completo. La excepción a este proceso de reducción de la concha es la Subclase Nautiloidea, que tienen una concha externa bien definida (Vaez *et al.*, 2004).

#### 1.1 Generalidades de los pulpos

Los pulpos, al igual que el resto de los cefalópodos, presentan simetría bilateral. En la parte anterior del cuerpo se encuentra la cabeza, los brazos y el sifón y en la parte posterior se localiza el manto, el cual cubre las branquias y las vísceras. Los octópodos tienen cuatro pares de brazos, normalmente los brazos del mismo par tienen la misma longitud, excepto en los machos, en los cuales el brazo derecho del tercer par es más corto y se conoce como hectocotilo, este brazo se caracteriza por que tiene un canal espermatoforico, y en la punta termina en la lígula, en la cual se encuentra el cálamo y las laminillas copulatorias (Fuentes, 2004).

Los pulpos son animales territoriales y solitarios, la mayoría habitan cerca de la costa, dependiendo de la especie, viven en sustratos rocosos o fondos arenosos. Poseen la capacidad de cambiar tanto el color como la textura de su piel de acuerdo al ambiente en el que se encuentran. Su crecimiento está controlado

entre otros factores por la temperatura, la disponibilidad y calidad del alimento y en el caso de las hembras, por la madurez sexual (Mangold, 1983). Tienen un ciclo de vida relativamente corto, entre uno y dos años (Figura 1), los machos viven más tiempo que las hembras, ya que éstas mueren al final del periodo de incubación de los huevos (Seixas, 2009).

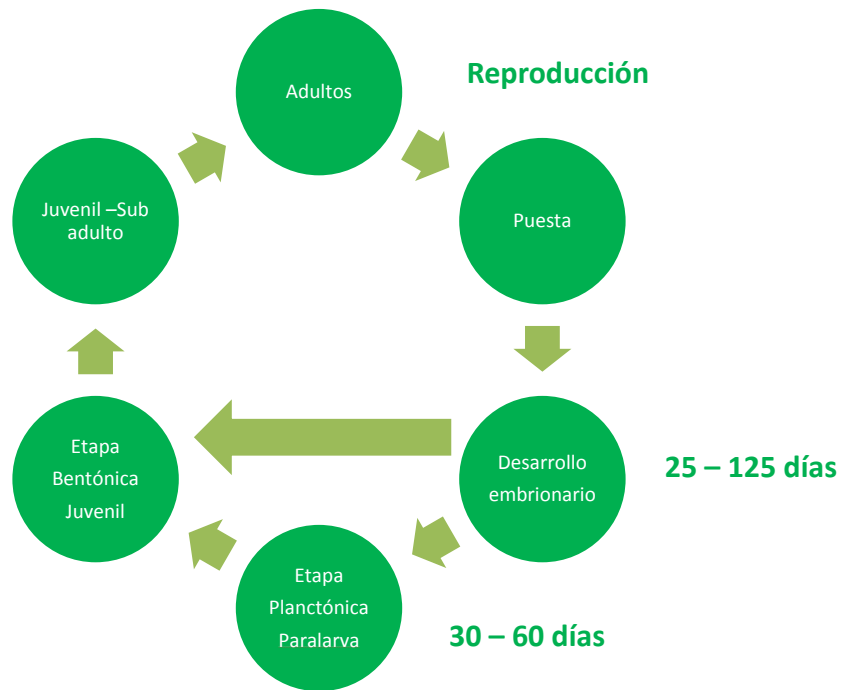
## 1.2 Ciclo de vida

Los pulpos son una especie gonocórica, es decir, de sexos separados. Presentan dimorfismo sexual, ya sea por la presencia de estructuras características de los machos y las hembras o por diferencias de tamaño. Como ya se ha mencionado, los machos de muchas especies de cefalópodos poseen un brazo modificado para la cópula (hectocotilo) y su función principal es transferir los espermatozoides a la hembra (Fuentes, 2004), por lo que la fecundación es interna. Una vez fecundada, la hembra coloca los huevos en cuevas o refugios donde inicia el periodo de incubación, durante este tiempo la hembra limpia y oxigena los huevos, además los protege de los depredadores (Mangold y Boletzky, 1973). La duración del periodo embrionario depende fundamentalmente del tamaño del huevo y de la temperatura del agua con periodos de 20-25 días a 25°C y hasta de 125 días a 13°C en *Octopus vulgaris* (Fuentes, 2004).

Las hembras por lo general no se alimentan durante el periodo de incubación de los huevos y los cuidan hasta el momento de la eclosión; a los pocos días después, las hembras mueren habiendo perdido un tercio o más de su peso inicial. En algunas ocasiones se han visto hembras que, tras la puesta de los huevos, han reanudado su alimentación pero nunca se han observado poniendo por segunda vez (Fuentes, 2004).

Dependiendo de la especie, como en el caso de *Octopus bimaculoides* el desarrollo puede ser directo, es decir, los organismos recién eclosionados tienen todos sus órganos desarrollados, miden más de 1 cm de longitud total y tienen

hábitos bentónicos como los adultos. En contraste, en otras especies como *Octopus bimaculatus* y *O. vulgaris*, eclosiona una paralarva, la cual, aunque no tiene una etapa de metamorfosis, tiene hábitos planctónicos durante las primeras semanas de vida (Itami *et al.*, 1963; Mangold y Boletzky, 1973; Villanueva, 1995).



**Figura 1. Ciclo de vida de *Octopus sp.***

### 1.3 Pesquería

Los cefalópodos son un recurso pesquero importante en muchas regiones costeras del mundo, con una producción mundial anual de 1.3 millones de toneladas (SOFIA, 2012). Las pesquerías más importantes se encuentran en Marruecos (país que aportó el 35% de la captura mundial en el 2003), Japón, Tailandia, España y México. En la mayoría de las localidades donde se distribuye *O. vulgaris* es la especie más intensivamente extraída a nivel mundial (Roper *et al.*, 1984; Domain *et al.* 2000; Paust, 2000; Vaez *et al.*, 2004).

En México la pesquería de pulpo se compone principalmente de las siguientes especies: *Octopus hubbsorum*, *O. bimaculatus*, *O. vulgaris*, *Octopus maya* y *Octopus macropus* (SAGARPA 2008). La captura de pulpos se practica en tres regiones del país, la primera la conforman los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit; la segunda región comprende a los estados de Colima, Guerrero, Jalisco, Michoacán y Oaxaca, y la tercera región comprende Yucatán, Campeche y Quintana Roo (SAGARPA 2008).

En la primer región durante el periodo de 1997 – 2005 el volumen de la producción pesquera (*O. hubbsorum*, *O. bimaculatus*, y *O. macropus*) tuvo un promedio anual de 443 t, con un valor económico de más de ocho millones de pesos anuales; siendo Baja California Sur el principal productor de este recurso (SAGARPA 2008). En Baja California la pesquería de pulpo se lleva a cabo en ambas costas (Océano Pacífico y Golfo de California) y durante el periodo de 1990 a 2005 la captura anual media fue de 50.8 t, ocupando Bahía de los Ángeles el primer lugar (CONAPESCA, 2005). En la segunda región la producción media anual de pulpo fue de 437 t en promedio, con un valor económico de nueve millones de pesos anuales (SAGARPA 2008). En la tercera región se capturó el mayor volumen de pulpo a nivel nacional (*O. vulgaris* y *O. maya*), con el 98% de la producción, siendo la cuarta pesquería más importante del país; en ese periodo el valor económico anual fue de más de 300 millones de pesos (SAGARPA 2008).

La captura de pulpo está regulada por la Norma Oficial Mexicana NOM-008-PESC-1993 que establece el arte de pesca permitido que es por medio de jimbos, la cual consiste en la navegación a la deriva, con carnadas dispuestas en ambos flancos de la embarcación, una talla mínima de captura de 110 mm de longitud del manto para *O. maya* y *O. vulgaris*, así como una cuota de captura y esfuerzo de pesca específico para cada especie y región (Pérez-Pérez *et al.*, 2006). En Bahía de los Ángeles utilizan embarcaciones de fibra de vidrio de entre seis y nueve metros de eslora, con motores de 70 a 120 HP; la captura se realiza por medio de trampas rectangulares de alambre de 20x30x50cm, en las cuales se coloca como

carnada trozos de pescado. Las trampas se colocan entre tres y nueve metros de profundidad asociadas a fondos de sustrato rocoso.

#### **1.4 Engorde de pulpo**

En Vigo, Galicia, desde 1997, el Instituto Español de Oceanografía junto con las empresas Samertolameu Sociedad Cooperativa Limitada y Arrecifes del Atlántico han llevado a cabo el engorde de pulpo (*O. vulgaris*) a escala industrial y han creado una tecnología propia que se ha transferido a otras comunidades autónomas (Oltra *et al.*, 2005 y Rodríguez *et al.*, 2006).

El engorde de pulpo se realiza en jaulas flotantes, con organismos capturados del medio natural, que después de un periodo de 3 a 4 meses, son cosechados cuando han alcanzado un peso de 3 a 4 kg. Durante el engorde, los pulpos son alimentados con peces, crustáceos y moluscos. Una instalación para el engorde de pulpo en el mar está compuesta por varias jaulas flotantes suspendidas en bateas de 20 x 20 m, las jaulas son de malla y travesaños de hierro galvanizado de 1.5 x 1.5 x 3 m de altura y tapadera superior por donde se introducen los refugios (piezas de PVC en forma de “T”) distribuidas en 8 líneas de tubos verticales, colocadas en dos paredes de las jaulas (Seixas, 2009).

En Latinoamérica las primeras experiencias de engorde se realizaron en Perú, en el centro de Acuicultura de La Arena, Casma, con *Octopus mimus*, esta actividad se realiza en tanques de fibra de vidrio y en long-line en el mar. Esta técnica ha permitido llegar a tallas comerciales de 1.1 y 2.2 kg, con tasas de mortalidad del 5% (Ramírez, 2008).

#### **1.5 Cultivo e investigación del pulpo en México**

En Yucatán, México, desde el 2013 funciona la primera granja en el cultivo de pulpo, establecida después de casi 10 años de investigaciones por la Unidad



Multidisciplinaria de Docencia e Investigación (UMDI-UNAM) junto con el trabajo de un grupo de mujeres del pueblo de Sisal. Esta granja a diferencia del engorde, se dedica a criar a los pulpos desde la eclosión de los huevos y se cultiva el “pulpo baby” de 100 g de peso promedio, el cual es preferido para los platillos gourmet. El cultivo se inicia en el área de reproducción de la UMDI, a la que llegan los pulpos adultos provenientes del medio natural. Una vez que la hembra ha hecho el filamento con los huevos adheridos, estos son retirados y colocados en incubadoras. Al eclosionar las crías, estas son llevadas a las áreas de pre-engorde, donde son alimentadas con dietas a base de jaiba y calamar (Jiménez, 2013).

En el Departamento de Acuicultura del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), desde hace varios años se ha trabajado con tres especies de pulpo: el pulpo ocelado de California (*O. bimaculoides*), el pulpo rojo (*O. rubescens*) y el pulpo de dos manchas (*O. bimaculatus*). Los estudios que se realizan en este Departamento están encaminados principalmente a incrementar la supervivencia en los primeros estadios de vida, siendo esta etapa el principal cuello de botella en el cultivo del pulpo de dos de las especies (*O. rubescens* y *O. bimaculatus*) que tienen etapa de paralarva.

Las tendencias a nivel mundial en las líneas de investigación van dirigidas hacia el área de reproducción, en los tiempos y el control de la maduración de los huevos, la fisiología, la variabilidad genética de las especies, la calidad de la paralarva, la patología y los sistemas de cultivo, entre otros (Iglesias *et al.*, 2000).

## **1.6 Temperatura**

Entre los factores ambientales principales que influyen en el comportamiento de los organismos acuáticos se encuentran la temperatura, la luz, el oxígeno disuelto y la salinidad. La temperatura influye directamente en las funciones de los

organismos de manera individual (el crecimiento y el comportamiento), modifica poblaciones (el tamaño y la estructura), y afecta a la estructura y función del ecosistema (en la descomposición, ciclos de los nutrientes, flujos del agua, composición e interacciones de las especies). Los cambios de este factor inducen adaptaciones fisiológicas en los animales que les permiten desempeñarse en un amplio rango de temperaturas (Barber *et al.*, 1983).

La mayoría de los animales acuáticos son ectotermos, por lo que obtienen la mayor parte de su calor del ambiente exterior. Estos animales presentan una tasa metabólica baja, y la cantidad de calor es tan pequeña que no genera un efecto sobre su temperatura corporal (Hill, 2007). Los ectotermos también pueden ser poiquilotermos (de temperatura variable) con una preferencia térmica definida, (Hill, 2007).

Prácticamente todos los aspectos del comportamiento y la fisiología son sensibles a las variaciones térmicas, incluyendo la locomoción, la función inmune, sensorial, la habilidad para alimentarse, el cortejo y el crecimiento (Anguilleta *et al.*, 2002). En diversos estudios se ha mencionado la importancia del intervalo térmico favorable, donde las actividades fisiológicas de los organismos se desarrollan óptimamente (Despatie *et al.*, 2001). Las diferentes adaptaciones para lograr este objetivo, se enfocan al estudio del comportamiento termorregulador de los animales que consiste en seleccionar las temperaturas del agua más favorables según sus requerimientos fisiológicos, y del intercambio de calor entre la interfase superficie corporal-agua (Despatie *et al.*, 2001).

La termorregulación, se refiere al proceso por el cual todos los organismos mantienen una temperatura interna la cual puedan tolerar, y que les permitirá sobrevivir, crecer y reproducirse (Campbel y Reece, 2005). La temperatura afecta las funciones del organismo a nivel celular, por ejemplo, en la membrana tiene un efecto importante en la fluidez y por consecuencia en su permeabilidad (Martin, 1982). Entre los lípidos que constituyen las membranas biológicas, los fosfolípidos

son los principales lípidos estructurales (Bell *et al.*, 1986) y sus características físicas son determinantes de su estructura y función. Así, en los animales ectotermos, los cambios en la temperatura causan una respuesta adaptativa que incluye la modificación de la composición lipídica de sus membranas (Hazel, 1995).

Los estudios sobre los cambios compensatorios en la estructura y función de los lípidos que constituyen la membrana han identificado las siguientes adaptaciones:

- Ajustes en la proporción de ácidos grasos saturados (Hazel, 1988);
- Ajustes en la proporción de fosfolípidos (Pruitt, 1988; Thompson, 1989); y
- Ajustes en el contenido de lípidos neutros como el colesterol (Robertson y Hazel, 1996).

Estos ajustes tienen múltiples efectos sobre las propiedades físicas de las membranas, entre las que se encuentran la fluidez, el espesor y la permeabilidad. La interacción de los fosfolípidos de la membrana celular regularmente mantiene una bicapa estable, en donde las cadenas hidrofóbicas de los ácidos grasos pueden estar alineadas y ordenadas para proporcionar una estructura suficientemente rígida. A una temperatura por arriba de la óptima, el arreglo de los fosfolípidos en la membrana comienza a ser más desordenado expandiéndose la parte hidrofóbica del fosfolípido, resultando un estado hiperfluido de la membrana muy semejante a un líquido, al bajar la temperatura de la óptima, la fluidez de la membrana disminuye haciéndose más viscosa (Martin, 1982).

La preferencia térmica es una respuesta característica de cada especie y puede ser modificada por factores tales como la edad, la disponibilidad de alimento, la estacionalidad, la condición patológica, la competencia inter o intraespecífica, la calidad del agua y la intensidad luminosa (McCauley y Casselman, 1981; Giattina y Garton, 1982). La temperatura óptima para el crecimiento se ha utilizado como un criterio de selección de sitios de cultivo (McCauley y Casselman, 1981).

Los estudios de la termobiología, comúnmente han empleado gradientes térmicos en tanques horizontales o verticales para demostrar que las especies seleccionan ciertos intervalos de temperatura y evitan otros (Anguilleta *et al.*, 2002). Fry (1947, p: 24) definió la preferencia térmica como “aquella temperatura en la cual la preferida es igual a la de aclimatación” y “la temperatura alrededor de la cual los organismos de una especie se congregan sin importar su historial térmico” y a partir de esta definición bipartita, se han desarrollado dos métodos para su determinación, el método agudo y el gravitacional. Reynolds y Casterlin (1979) definieron la preferencia térmica como el intervalo de temperatura en la cual se congregan los organismos, o bien en el que pasan más tiempo.

Son muy pocos los estudios que se han realizado sobre la preferencia térmica de los pulpos, entre los cuales se encuentran el de Zúñiga *et al.* (2012) con *O. mimus* (especie importante en la zona costera de Perú y Chile). El estudio se realizó en la etapa de paralarva, en donde se observó que el comportamiento termorregulador era dependiente de la edad pero que el consumo de oxígeno no era afectado, sugiriendo que existen mecanismos compensatorios del metabolismo en las paralarvas, hasta por lo menos cuatro días después de la eclosión.

En *O. maya* (especie endémica de la península de Yucatán), se estudió la tolerancia térmica y la tasa de consumo de oxígeno de juveniles aclimatados durante 20 días a cuatro diferentes temperaturas (18, 22, 26 y 30°C). La temperatura preferida fue de 23.4°C y el consumo de oxígeno aumentó con el incremento de la temperatura. Los resultados sugieren que *O. maya* tiene una mayor capacidad de adaptación a temperaturas de 20 - 26°C por lo que su potencial para la acuicultura es en las regiones tropicales del sureste de México (Noyola *et al.*, 2013a).

Noyola *et al.* (2013b) evaluaron en *O. maya* los efectos de la temperatura sobre el balance energético, y analizaron el perfil de ácidos grasos para comprender como la temperatura afecta el metabolismo de los lípidos y concluyeron que las bajas

temperaturas favorecen el crecimiento, probablemente por una reducción del metabolismo y como consecuencia una disminución general en la actividad; también se observó que los pulpos tenían más tiempo para ingerir una mayor cantidad de alimento, lo que tuvo como consecuencia una mejor utilización de los nutrientes, como los ácidos grasos, entre otros.

Forsythe y Hanlon (1988b) estudiaron el efecto de dos temperaturas (18° y 23°C) sobre el crecimiento, la reproducción y la longevidad de *O. bimaculoides*. En las dos temperaturas las hembras pesaron más que los machos y estos crecieron más en talla y maduraron antes que las hembras. En ambos sexos se aceleraron los procesos de reproducción a 23°C.

*O. bimaculoides* (Pickford y McConnaughey, 1949) (Fig. 2), es una especie subtropical, cuyo intervalo de temperatura es de 12 a 25°C, es un pulpo de tamaño mediano, el cual llega a medir hasta 60 cm. Se distribuye desde Santa Bárbara, California, Estados Unidos de América hasta San Quintín, en la península de Baja California, México (Forsythe y Hanlon, 1988); crece a un peso máximo de 800 g. Generalmente se encuentra en ambientes arenosos a menos de 30 m de profundidad, produce huevos de aproximadamente 13 mm de diámetro; los pulpos recién eclosionados tienen desarrollo directo y pueden vivir de 1 a 1.5 años (Forsythe y Hanlon, 1988b).



**Figura 2. *Octopus bimaculoides* Fotografía P.Z.Myers**

En lo referente a las investigaciones del efecto de la temperatura sobre la composición bioquímica de los pulpos no hay mucha información, sin embargo, se han realizado estudios en otros cefalópodos. Algunos autores mencionan que la fracción de lípidos que se presenta en las etapas tempranas de la ontogenia de los cefalópodos como en el caso de los calamares y sepias (10 a 12% del peso seco) es mayor que en los adultos, esta condición se ha observado en las especies que presentan una fase de paralarva (Navarro y Villanueva, 2003). En contraste, el porcentaje de lípidos totales en los cefalópodo (calamares y sepias) adultos representa una fracción del 5 – 10% en peso seco cuando las condiciones ambientales son adecuadas (Lee, 1994; Navarro y Villanueva, 2000; García García y Cerezo Valverde, 2006; Zlatanov *et al.*, 2006).

Como se mencionó anteriormente, los pulpos representan un recurso económico importante para el país, que a lo largo de los años ha sido explotado, lo que ha ocasionado una disminución considerable de las poblaciones naturales (SAGARPA, 2008). Por ello es necesario generar la información básica para su cultivo, sobre todo en las especies como *O. bimaculoides* que presenta cualidades naturales para esta actividad, como es eclosionar como juvenil bentónico, presentar poco canibalismo en cautiverio al igual que *O. vulgaris*, entre otros.

En este estudio se aporta información de la preferencia térmica y la composición lipídica de *O. bimaculoides* en dos etapas de su ciclo de vida, en juveniles recién eclosionados y en adultos, por lo que con estos resultados se generará conocimiento sobre las condiciones térmicas óptimas para su cultivo experimental.

## Capítulo 2

---

### Hipótesis

- La preferencia de temperatura de los juveniles recién eclosionados de *Octopus bimaculoides* es similar a la de los adultos, ya que al eclosionar como un organismo bentónico comparte el mismo nicho térmico.
- El contenido de lípidos totales en los juveniles recién eclosionados de *O. bimaculoides* varía al ser expuestos a un gradiente de temperaturas y será mayor que en organismos adultos, debido a que las reservas de vitelo son la fuente de energía utilizada en los primeros días de vida mientras encuentra su alimento en el medio natural.

## Capítulo 3

---

### Objetivos

#### 3.1 Objetivo general

Evaluar la preferencia térmica y la composición lipídica en adultos y juveniles recién eclosionados de *Octopus bimaculoides*.

#### 3.2 Objetivos particulares

- Conocer la temperatura preferida de adultos (machos y hembras) y juveniles recién eclosionados de *O. bimaculoides*.
- Comparar la temperatura preferida diurna y nocturna de adultos (machos y hembras).
- Analizar la composición de lípidos totales de adultos (machos y hembras) y juveniles recién eclosionados de *O. bimaculoides*.



## Capítulo 4

---

### Materiales y métodos

#### 4.1 Recolección de organismos

La recolección de pulpos ocelados adultos (*O. bimaculoides*) se realizó en las costas de Bahía Falsa, en San Quintín, localizada entre los 30° 24' y 30° 30' de latitud norte y entre los 115° 57' y 116° 01' de longitud oeste (Figura 3).



**Figura 3. Ubicación del sitio de recolecta del pulpo *Octopus bimaculoides* en la Bahía de San Quintín, Baja California. Recuperado de <https://maps.google.com.mx>**

Los organismos se localizaron en agujeros y sustratos rocosos, la captura se realizó manualmente y los pulpos fueron colocados en recipientes con agua de mar limpia, se realizaron recambios constantes durante el muestreo para evitar las variaciones térmicas y el deterioro de la calidad del agua. Se recolectaron un total de 20 organismos (8 hembras y 12 machos), los cuales fueron colocados en refugios individuales hechos con tubos de ABS cubiertos con malla sardinera en

forma de bolsa para evitar que los organismos se agredieran entre sí. Los refugios fueron colocados en bolsas de plástico con agua de mar y oxígeno a saturación para su transporte a las instalaciones del Departamento de Acuicultura del CICESE.

#### **4.2 Mantenimiento de los organismos**

Una vez en el laboratorio, los pulpos se colocaron, en tanques individuales de 500 L, dentro de refugios hechos con tubería de ABS de 15.24 cm y 30 cm de longitud, en un sistema de recirculación. Diariamente se midió la temperatura, la salinidad y el oxígeno disuelto del agua con un multiparámetro YSI 85 y se revisaba los refugios de las hembras, para verificar si alguna había iniciado el proceso de incubación de los huevos. La alimentación fue a base de mejillones y jaiba y dependiendo de la cantidad de alimento que los pulpos consumían, éstos fueron alimentados cada 2 o 3 días.

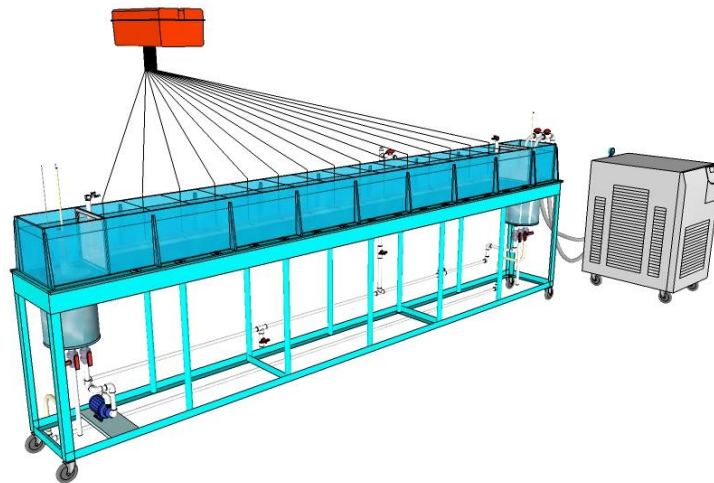
Una vez que se identificó a una de las hembras con puesta, esta fue colocada en un tanque de 60 L, para monitorear el desarrollo de la puesta y de la hembra en el transcurso de incubación de los huevos.

#### **4.3 Sistema para el estudio de la preferencia térmica**

El sistema utilizado en los estudios de preferencia térmica fue diseñado por Bückle y colaboradores (2003), en forma resumida, consta de un canal construido de acrílico transparente de 365 cm de longitud, 31 cm de ancho y 26 cm de alto (Figura 4) con un volumen total de 220 L. En el interior cuenta con una manguera de irrigación con poros pequeños que permite difundir el aire uniformemente en toda la columna de agua. En cada extremo del canal hay una cámara construida de tubo PVC de 20.3 cm de diámetro y 29 cm de largo en cuya base se instalaron tres llaves de paso de 1/2 pulgada. En un extremo del estanque se sumergen dos calentadores de titanio de 1000 W cada uno. El agua se enfría en el otro extremo

del estanque por medio de un intercambiador de calor (Neslab Merlin M150). La temperatura en cada cámara se mide con un termógrafo (SR 630 Stanford Research System) con 15 termistores que transmiten la información cada 10 minutos, a una impresora.

Para generar un gradiente térmico en el canal, el agua se calienta en un extremo del canal y se enfría en el otro, el intervalo de temperaturas se define programando la temperatura de los equipos colocados en los extremos del canal. Para obtener un gradiente lineal y no estratificado, se coloca un difusor de aire en cada extremo y otro a lo largo del canal, lo que también permite mantener los niveles adecuados de oxígeno disuelto (Bückle *et al.*, 2003).



**Figura 4. Sistema para la experimentación de la preferencia térmica de *Octopus bimaculoides* (Bückle *et al.*, 2003). Dibujo elaborado por Francisco Valenzuela.**

#### **4.4 Estudio de preferencia térmica para adultos de *O. bimaculoides*.**

Los experimentos se realizaron por el método gravitacional, el cual consistió en colocar a los organismos en un gradiente con un intervalo de temperaturas de 9 a 26°C por un periodo de 24 horas, cada hora se registró la posición de los organismos en el gradiente.

Durante este periodo se simuló un ciclo diurno de 12 horas y durante la fase nocturna del ciclo se apagaron las lámparas (se utilizaron lámparas fluorescentes rojas para facilitar el trabajo de los observadores durante los experimentos). Se realizaron 18 repeticiones (11 machos, 7 hembras) con un organismo a la vez. El peso promedio de los pulpos fue de  $180.0 \pm 55.5\text{g}$ .

#### **4.5 Estudio de preferencia térmica para juveniles de *O. bimaculoides*.**

Para el estudio de la temperatura preferida se utilizó el mismo intervalo de temperaturas que para los adultos y solamente se usaron pulpos recién eclosionados (0 días después de la eclosión, dde), para asegurar que tenían la misma condición. Se realizaron nueve repeticiones con cinco organismos cada una, el peso promedio de los pulpos recién eclosionados fue de  $60 \pm 10\text{ mg}$ , los cuales se introdujeron al canal en la cámara que tenía la temperatura de  $17.2^{\circ}\text{C}$ , que corresponde al valor térmico promedio al cual se incubaron los huevos durante 108 días.

Los experimentos se realizaron por el método agudo el cual consistió en colocar a los organismos en un gradiente de temperaturas ( $9 - 26^{\circ}\text{C}$ ) por un tiempo de 4 horas. Las observaciones se realizaron cada diez minutos durante la primera hora, ya que en este tiempo los juveniles tuvieron mayor actividad en el gradiente y, una vez que se establecían en una cámara, las lecturas se realizaron cada 20 minutos durante las siguientes 3 horas, registrando el número de organismos en cada cámara.

#### **4.6 Análisis de lípidos totales**

Para realizar los análisis de lípidos totales se tomó una muestra de cinco juveniles recién eclosionados, en las primeras 12 horas después de la eclosión ( $<12\text{ hde}$ ), sin exposición al gradiente y después de que fueron expuestos al gradiente se tomó otra muestra de cinco juveniles ( $12-16\text{ hde}$ ). En el caso de los adultos se

tomó una muestra de las gónadas, glándula digestiva, brazo y manto, tanto de hembras (n=2) como de machos (n=8).

Para la extracción de lípidos se utilizó el método descrito por Bligh y Dyer (1959), usando como agente extractor una mezcla de cloroformo-metanol (2:1). Este método se basa en la homogenización del tejido con cloroformo y metanol en proporciones 2:1, para formar una fase que se mezcla con agua para separar dos fases, quedando los lípidos en la capa de cloroformo.

Para la cuantificación de los lípidos se utilizó el método descrito por Pande *et al.* (1963), cuya base es el reactivo dicromato de potasio disuelto en ácido sulfúrico, que oxida los lípidos formando un compuesto colorido. Previamente se preparó una curva de calibración utilizando tripalmitina como estándar; la densidad óptica se leyó a 590 nm en un espectrofotómetro Hach 5000.

#### **4.7 Análisis estadístico**

Para la estimación de la temperatura preferida se realizó un análisis exploratorio de datos en cajas en paralelo (Tukey, 1977). Se realizaron pruebas de bondad de ajuste para corroborar la normalidad de los datos de preferencia térmica entre sexos y aquellos que no cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad, se les aplicó la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney.

Para el análisis de lípidos totales, se transformaron los datos de porcentaje con la función arco seno y se realizó una prueba t para identificar las diferencias entre la cantidad de lípidos totales entre los juveniles de <12 hdde y los de 12-18 hdde que fueron expuestos al gradiente térmico, así como para identificar las diferencias en el contenido lipídico de los diferentes órganos de los pulpos adultos.

Se utilizó el programa estadístico Sigma Stat y Sigma Plot 11.0 para el análisis de los datos y para elaborar las gráficas.

## Capítulo 5

---

### Resultados

Durante el mantenimiento de los organismos adultos (machos y hembras) y de los juveniles recién eclosionados, se registraron los parámetros fisicoquímicos del agua en sus respectivos tanques. Los parámetros se mantuvieron estables durante la experimentación (96 días para los adultos y 108 días para la incubación de los huevos) (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos registrados en los tanques de cultivo durante el periodo de mantenimiento de *Octopus bimaculoides*. Media  $\pm$  desviación estándar.

Tanque	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/l)	Salinidad (pps)
500 L (adultos)	16.1 $\pm$ 1.3	7.1 $\pm$ 0.3	35.7 $\pm$ 0.7
60 L (juveniles)	17.2 $\pm$ 1.2	7.4 $\pm$ 1.2	33.0 $\pm$ 0.6

### 5.1 Estudio de preferencia térmica para adultos de *O. bimaculoides*

Todas las comparaciones arrojaron diferencias significativas (Tabla 2), tanto entre las preferencias térmicas de hembras y machos, las fases del fotoperiodo, así como la combinación de estos factores.

La temperatura preferida de los machos de *O. bimaculoides* tuvo un intervalo de 14.5 a 18.0°C con una preferencia térmica mediana de 16.0  $\pm$  1.2°C, el preferendum diurno fue de 17.2  $\pm$  0.5°C mientras que el nocturno fue de 14.7  $\pm$  0.3°C (Figura 5). En las hembras el intervalo térmico fue de 15.6 a 19.4°C con una preferencia térmica de 17.8  $\pm$  1.2°C, el preferendum diurno fue de 18.3  $\pm$  0.5°C mientras que el nocturno fue de 16.7  $\pm$  0.9°C (Figura 6).

Tabla 2. Resultados de la prueba U de Mann-Whitney de la preferencia térmica de los adultos de *Octopus bimaculoides* según el sexo y las fases del fotoperiodo. Un registro por hora en 11 machos y 7 hembras.

Sexo	Fotoperiodo (horas)	n	Mediana (°C)	U	P
<b>M vs H</b>	(24)	264	16.0	44135.0	<0.001
		168	17.8		
<b>M</b>	Diurno (12)	132	17.2	19968.5	<0.001
	Nocturno (12)	132	14.7		
<b>H</b>	Diurno (12)	84	18.3	7943.0	=0.007
	Nocturno (12)	84	16.7		
<b>M vs H</b>	Diurno (12)	132	17.2	11110.5	<0.001
		84	18.3		
<b>M vs H</b>	Nocturno (12)	132	14.7	10928.0	<0.001
		84	16.7		

M = Macho; H = Hembra



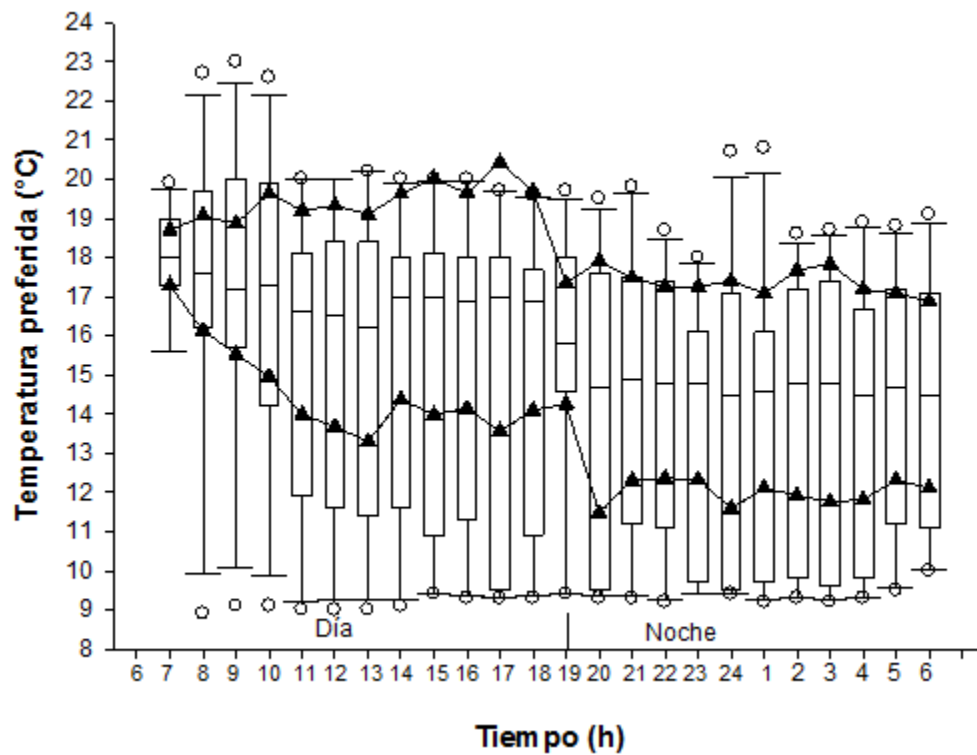


Figura 5. Temperatura preferida de los machos del pulpo *Octopus bimaculoides* durante un periodo de 24 horas. Mediana (línea horizontal)  $\pm$  intervalo de confianza al 95% (líneas con triángulos).

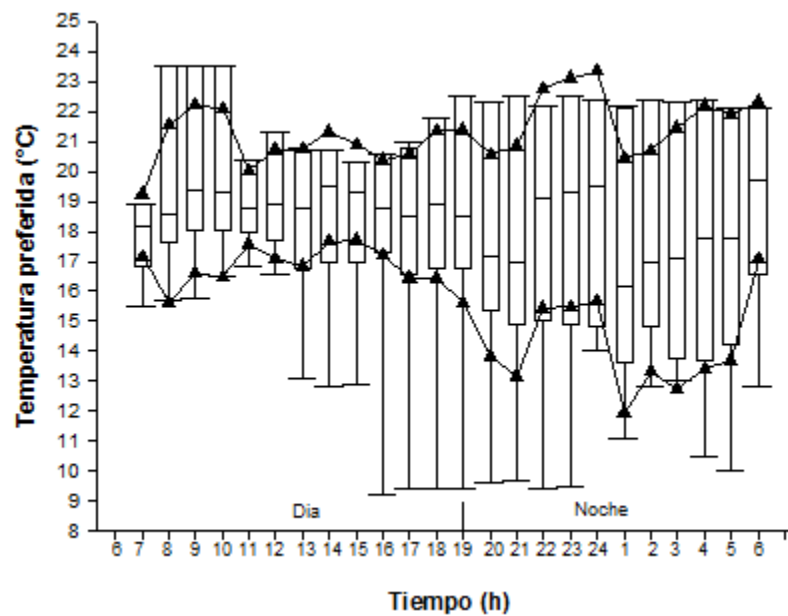
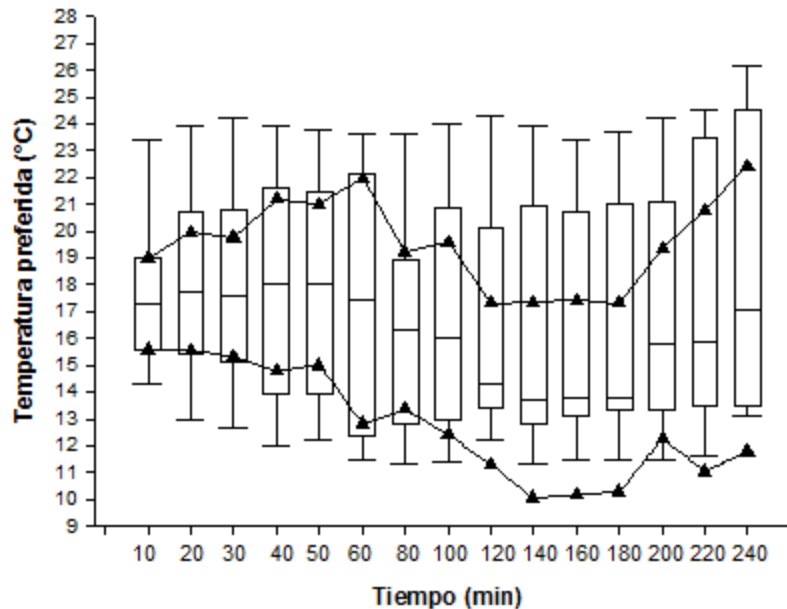


Figura 6. Temperatura preferida de las hembras del pulpo *Octopus bimaculoides* durante un periodo de 24 horas. Mediana (línea horizontal)  $\pm$  intervalo de confianza al 95% (líneas con triángulos).

## 5.2 Estudio de preferencia térmica para juveniles de *O. bimaculoides*.

Los valores de la temperatura preferida entre los diferentes periodos de tiempo de los juveniles de *O. bimaculoides* no presentaron diferencias significativas ( $P>0.05$ ). Las temperaturas con mayor frecuencia estuvieron en un intervalo de 13.7 a 17.8°C con una mediana de  $16.0 \pm 1.5^\circ\text{C}$  (Figura 7).



**Figura 7. Temperatura preferida de juveniles <12hde del pulpo *Octopus bimaculoides* en un periodo de 4 horas. Mediana  $\pm$  intervalo de confianza al 95%.**

Al comparar la temperatura preferida de los adultos de *O. bimaculoides* ( $16.7 \pm 1.4^\circ\text{C}$ ), y la de los juveniles recién eclosionados ( $16.0 \pm 1.5^\circ\text{C}$ ) no se encontraron diferencias significativas ( $t=38114.0^{\text{ns}}$ ,  $P>0.05$ ).

## 5.3 Análisis de lípidos totales

Los resultados de la prueba t de Student indican que no hay diferencias significativas entre los porcentajes de lípidos totales de los juveniles recién eclosionados no expuestos al gradiente de temperaturas y los que sí estuvieron expuestos ( $t=-0.294^{\text{ns}}$ ,  $P=0.776$ ), con un promedio de 9.0% (Tabla 3, Figuras 8).

Tabla 3. Contenido de lípidos totales en los juveniles de *Octopus bimaculoides* <12 – 16hdde, no expuestos y expuestos al gradiente térmico.

	N	Máximo (%)	Mínimo (%)	Media (%)	Desviación estándar	Error estándar
<b>No expuestos</b>	5	10.9	5.7	8.8	2.1	0.92
<b>Expuestos</b>	5	11.5	8.1	9.1	1.4	0.62

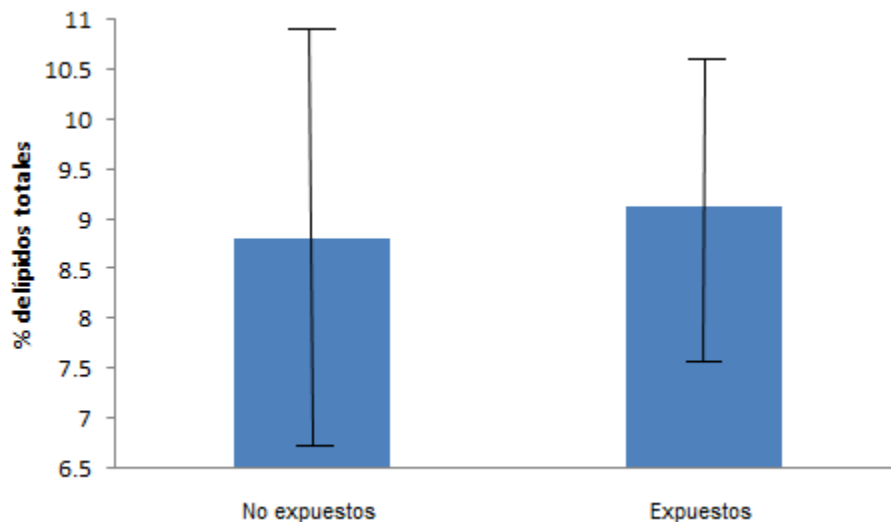


Figura 8. Porcentaje de lípidos totales en juveniles recién eclosionados no expuestos y expuestos al gradiente de temperatura. Media  $\pm$  desviación estándar.

Los resultados de la comparación estadística de los lípidos totales en diferentes órganos de machos y hembras indicaron que no hay diferencias en las gónadas, el manto, el brazo ni en la glándula digestiva (Tabla 4 y 5).

Tabla 4. Resultados de la prueba t de Student de lípidos totales en diferentes órganos de *Octopus bimaculoides*.

Órgano	Sexo	N	Media (%)	t	P
<b>Gónada</b>	H	2	1.6	-0.657	P=0.535
	M	6	2.6		
<b>Manto</b>	H	2	1.3	0.146	P=0.888
	M	6	1.2		
<b>Brazo</b>	H	2	0.6	1.696	P=0.141
	M	6	0.3		

H = Hembra; M = Macho

Tabla 5. Resultados de la prueba U de Mann-Whitney de la comparación de la glándula digestiva entre machos y hembras de *Octopus bimaculoides*.

Órgano	Sexo	N	Mediana (%)	U	P
<b>Glándula digestiva</b>	H	2	2.22	4.00	P=0.643
	M	6	1.49		

H = Hembra; M = Macho

## Capítulo 6

---

### Discusión

Los estudios de termorregulación se han utilizado con diferentes enfoques en diferentes especies. Ya sea con el objetivo de predecir el efecto de los cambios de temperatura sobre la comunidad de organismos en la zona costera adyacente a las plantas termoeléctricas, para analizar los efectos del cambio climático y para estudiar el efecto de procesos oceánicos como El Niño. Las respuestas termorreguladoras permiten explicar los efectos de la temperatura sobre el desempeño de los organismos y son útiles para determinar los lugares adecuados para el cultivo y engorde de las especies de interés (Beitinger *et al.*, 2000).

Los estudios de los efectos de la temperatura en la fisiología de los octópodos son recientes, sobre todo aquellos cuyo enfoque está relacionado con su comportamiento y ciclo de vida. En este trabajo se evaluó la preferencia térmica en adultos de *Octopus bimaculoides* por el método gravitacional y en juveniles recién eclosionados por el método agudo, para conocer si estas dos etapas del ciclo de vida comparten el mismo espacio térmico. Los resultados encontrados en este estudio demuestran que no hay diferencias en el preferendum térmico entre adultos y juveniles recién eclosionados expuestos a un amplio intervalo de temperaturas (9 a 26°C). Estos resultados concuerdan con lo señalado por Forsythe y Hanlon (1988a) quienes suponen que esta especie al eclosionar como juvenil bentónico comparte el mismo nicho térmico que los adultos. McCauley (1977) menciona que la preferencia térmica de una especie puede ser influenciada por el estado nutricional, la salud del organismo, los contaminantes, el sexo y la edad, entre otros.

En este estudio se observó que la edad de los organismos (adultos y juveniles) no tuvo una influencia en la preferencia térmica de la especie, sin embargo, el sexo sí influyó en la respuesta térmica de los adultos, ya que la temperatura preferida para

los machos fue de  $15.9 \pm 1.2^{\circ}\text{C}$ , mientras que las hembras prefirieron  $17.4 \pm 1.2^{\circ}\text{C}$ . Esta diferencia podría estar relacionada con el ciclo reproductivo de las hembras, ya que los estudios realizados en cefalópodos, muestran que la maduración está regulada tanto hormonalmente (Di Cosmo *et al.*, 2001) como por factores ambientales como la temperatura, el fotoperiodo y la disponibilidad de alimento (Van Heukelem, 1979). Un comportamiento similar se ha reportado para otros organismos como en *Perca flavescens*, en donde los estudios de laboratorio, mostraron una diferencia de género en relación con la preferencia térmica (Ferguson, 1958).

Los organismos que son expuestos a un gradiente de temperatura también pueden evitar las temperaturas que les son desfavorables, ya sean frías o calientes. En este sentido, Giattina y Garton (1982) definen las temperaturas de evitación como aquellas en las que los organismos pasan significativamente menos tiempo o visitan con menor frecuencia. En *O bimaculoides*, las temperaturas de evitación inferior y superior fueron de  $13$  y  $21^{\circ}\text{C}$  para los machos, de  $11$  y  $24^{\circ}\text{C}$  para las hembras y para los juveniles de  $11$  y  $26^{\circ}\text{C}$  respectivamente, lo que podría indicar una mayor tolerancia a temperaturas más altas de  $23^{\circ}\text{C}$  ya que esta especie puede crecer y reproducirse a esa temperatura (Forsythe y Hanlon, 1988).

Las temperaturas que menos frecuentaron los juveniles podría indicar que las temperaturas menores de  $11^{\circ}\text{C}$  y mayores de  $26^{\circ}\text{C}$  pueden ocasionar cambios fisiológicos como en la conformación de la membrana celular para mantener la constancia relativa del medio interno, a través de la síntesis de proteínas y/ o cambios en la proporción de los fosfolípidos (Prosser, 1978).

La temperatura preferida por *O. bimaculoides* coincide con la temperatura óptima para el crecimiento de los juveniles y para la reproducción en los adultos. Giattina y Garton (1982), sugieren que la temperatura preferida puede reflejar el óptimo térmico donde los procesos fisiológicos ocurren en forma óptima.

Los resultados del comportamiento termorregulador obtenidos en este trabajo, pueden ser útiles para que en un futuro se desarrolle el cultivo experimental de *O. bimaculoides* en etapas tempranas, sin embargo, es necesario realizar otros estudios que aborden aspectos como la nutrición, para encontrar la mejor dieta que permita mantenerlos en cautiverio hasta una talla de pulpo gourmet, como ocurre actualmente con *O. maya*.

Por otro lado, es importante mencionar que durante el mantenimiento de las hembras de *O. bimaculoides* se observaron varios desoves, la mayoría fueron terminales y en uno de los experimentos con hembras expuestas al gradiente, se observó un desove parcial (durante 70 minutos) de una hembra ubicada en la cámara que tenía la temperatura de 19°C, después de ese desove, a los 5 días continuó con el proceso e inició con la incubación de los huevos. Ambrose (1988) manifiesta que la temperatura es un factor determinante para la reproducción en *O. bimaculatus*, indicando que un aumento de temperatura incrementa los desoves y el éxito reproductivo. Por lo que podría ser que la temperatura que tenía la cámara del gradiente (19 °C), la cual era mayor a la del tanque inicial de mantenimiento ( $16.1 \pm 1.3^\circ\text{C}$ ), haya detonado el desove parcial.

La preferencia térmica de *O. bimaculoides* sigue un ritmo circadiano, ya que se observaron diferencias altamente significativas en el preferendum térmico diurno y nocturno, los machos y las hembras, seleccionaron temperaturas más frías durante la noche (14.7°C) que durante el día (17.2°C). En su ambiente natural, de manera general los pulpos permanecen en sus refugios durante el día y por la noche, permanecen activos en busca de alimento, desplazándose hacia zonas más profundas con temperaturas más bajas (Fuentes, 2004). Este comportamiento también se presenta en otros organismos acuáticos, como en los acociles *Procambarus clarkii* (Bücker et al. 1994) y *P. specilifer* (Taylor, 1984), donde su comportamiento termorregulador puede favorecer el equilibrio metabólico. En este sentido Brett (1971) propone una hipótesis bioenergética para

el salmón *Oncorhynchus nerka*, en donde el metabolismo de mantenimiento se reduce a la mitad en la fase nocturna y por lo tanto los organismos tienen cierta reserva energética que está disponible para el crecimiento y la reproducción.

Los animales acuáticos utilizan su capacidad de adaptación para resistir cambios en su medio ambiente, por medio de ajustes neuroendócrinos, metabólicos o de comportamiento (Pigliucci, 1996). Estos ajustes proporcionan a los organismos la plasticidad fisiológica, la que es particularmente importante en los ectotermos que experimentan amplias fluctuaciones de temperatura (Buckley *et al.*, 2001). Entre los ajustes fisiológicos se encuentran los cambios en la conformación de la membrana así como la composición de los lípidos totales, estas adaptaciones varían en los diferentes estadios del ciclo de vida de los organismos (Hochachka y Somero, 1973).

En los juveniles recién eclosionados se evaluó la composición lipídica de un grupo de organismos que fueron expuestos a un gradiente térmico y de otro grupo que no lo experimentaron, en ambos grupos no se encontraron diferencias en el contenido de lípidos, lo cual se podría explicar porque la exposición al gradiente térmico fue solamente durante un periodo de cuatro horas, lo que quizás no fue suficiente para que se presentaran cambios en la composición lipídica. Para poder observar cambios a nivel de composición lipídica en los juveniles se podrían aclimatar a temperaturas mayores y a temperaturas menores de la temperatura preferida.

Los lípidos en los primeros días después de la eclosión, provienen de las reservas vitelinas, los cuales desempeñan una doble función: cubrir los requerimientos energéticos del metabolismo como es la síntesis de ATP por oxidación de los ácidos grasos y servir de precursores en numerosos procesos de biosíntesis, como la formación de las membranas celulares (Tocher y Sargent, 1984). En los cefalópodos, los lípidos son importantes para el sistema nervioso y visual, por lo



que estos sistemas están desarrollados desde las etapas tempranas de su ciclo de vida (Baltantyne *et al.*, 1981).

En los adultos de *O. bimaculoides*, el contenido de lípidos de los diferentes órganos (gónadas, glándula digestiva, músculo del manto y del brazo) mostró que la gónada tuvo el porcentaje más alto y de los dos sexos, el que presento mayor porcentaje de lípidos fueron los machos (1.6% en hembras y 2.6% en machos), seguido de la glándula digestiva (2.2% en hembras y 1.5% en machos), lo que se puede explicar por el hecho de que las hembras se encontraban en época reproductiva y por los desoves ocurridos durante el experimento, éste es un factor que modifica el contenido lipídico en estos dos órganos, que depende del sexo (Rosa *et al.*, 2002). Por esta razón es común que la glándula digestiva y los músculos muestran atrofia celular, presentando mayor cantidad de tejido conectivo, en especial de fibras de colágeno, debido a esto, durante la etapa reproductiva la glándula digestiva y el músculo decrecen en el lapso de tiempo comprendido entre la puesta y la eclosión de los huevos (Zamora y Olivares, 2004). El contenido lipídico es variable entre las diferentes especies. En *O. vulgaris*, el músculo del brazo y del manto presentan un perfil bajo de lípidos (5-10%), las gónadas un porcentaje medio (10 - 20%) y la glándula digestiva una elevada cantidad (30 - 50%) ya que es un órgano de reserva energética (Sierio *et al.*, 2006; Rosa *et al.*, 2004; García Garrido *et al.*, 2010; Cerezo Valverde *et al.*, 2011).

Las diferencias de los contenidos de lípidos en la glándula digestiva de *O. bimaculoides* con lo reportado en *O. vulgaris*, es que las hembras utilizadas en este estudio se encontraban en pre-desove. La glándula digestiva junto con el músculo son utilizados durante el ayuno reproductivo que ocurre días antes de la puesta, debido a que las hembras dejan de alimentarse y su metabolismo se sustenta con la energía almacenada en el cuerpo. En las hembras utilizadas en los experimentos del presente trabajo, se pudo observar una disminución en la masa muscular desde el momento en que fueron capturadas, hasta que eclosionaron los

huevos, debido al catabolismo de la musculatura durante el periodo previo al desove (O'Dor y Wells, 1987).

Zamora y Olivares (2004), indican que antes de que ocurra el desove de *O. mimus* el ovario alcanza el mayor tamaño y pesa en promedio un 11% del peso corporal, donde el costo energético del crecimiento y desarrollo del ovario implicó almacenar en la gónada un total de 282,5 Kcal/g, contenidas mayoritariamente en proteínas (47.6%), carbohidratos (45.1%) y lípidos (4%). Los resultados obtenidos en las hembras de *O. bimaculoides* sugieren que estaban maduras y en periodo pre-desove ya que el contenido de lípidos coinciden con lo reportado con estos autores.

Los órganos que presentaron la menor cantidad de lípidos tanto en las hembras como en los machos fueron el músculo del manto (1.3 y 1.2%) y del brazo (0.6 y 0.3%), esto concuerda con los estudios realizados de García Garrido *et al.* (2010), donde analizaron la composición bioquímica de los mismos tejidos en *O. vulgaris*, y los valores de la cantidad de lípidos totales son similares a los obtenidos en *O. bimaculoides*.

La temperatura afecta diversas respuestas fisiológicas en los organismos acuáticos, una de ellas es la tasa metabólica, lo que permite determinar los costos metabólicos de los animales asociados a los cambios en el ambiente (Brougher *et al.*, 2005). El consumo de oxígeno se encuentra íntimamente ligado con el trabajo metabólico y el flujo de energía que el organismo puede destinar para los mecanismos de control homeostático (Salvato *et al.*, 2001). El poder generar esta información con los juveniles recién eclosionados de *O. bimaculoides* aclimatados a la temperatura preferida y a las menos frecuentadas permitiría estimar el costo metabólico asociado al desempeño de las etapas tempranas de esta especie expuesta a diferentes condiciones térmicas. Por ejemplo, en juveniles de *O. maya* aclimatados a cuatro temperaturas (18, 22, 26 y 30°C), el consumo de oxígeno se incrementa significativamente conforme aumenta la temperatura de

aclimatación, lo que está relacionado con sus requerimientos de energía (Noyola *et al.*, 2012).

El presente trabajo constituye la primera descripción del comportamiento de preferencia térmica así como el contenido de lípidos de *O. bimaculoides* tanto en juveniles recién eclosionados como en adultos; este trabajo es el primero en relación con la biología básica de esta especie y está orientado a la búsqueda de las mejores condiciones para desarrollar su cultivo experimental.

## Conclusiones

---

- La temperatura preferida de los adultos de *Octopus bimaculoides* fue de  $16.7 \pm 1.2^\circ\text{C}$  y la de los juveniles recién eclosionados fue de  $16.0 \pm 1.5^\circ\text{C}$  lo que indica, que esta especie en los dos estadios comparten el mismo nicho térmico.
- Las hembras de esta especie seleccionaron una temperatura más alta ( $17.8 \pm 1.2^\circ\text{C}$ ) que los machos ( $16.0 \pm 1.2^\circ\text{C}$ ), lo que podría estar relacionado con su ciclo reproductivo, ya que buscan temperaturas más altas para el proceso de reproducción.
- Los adultos de *O. bimaculoides* tienen un ritmo circadiano de temperatura preferida, ya que durante el día seleccionan un intervalo térmico de  $17.2$  a  $18.3^\circ\text{C}$  y durante la noche de  $14.7$  a  $16.7^\circ\text{C}$ .
- Los juveniles recién eclosionados tienen un contenido de lípidos totales muy similar a los juveniles que se expusieron al gradiente térmico y en ambos casos el contenido lipídico de los órganos analizados fue mayor que de los adultos. Sin embargo, en los adultos, los órganos que presentaron mayor cantidad de lípidos totales fueron las gónadas y la glándula digestiva.

## Recomendaciones

---

- Se recomienda para próximos estudios de preferencia térmica en *O. bimaculoides*, aumentar el número de muestra en los adultos tanto en machos como en hembras, así como para los estudios de composición lipídica, ya que en este trabajo por la disponibilidad de organismos, el número de muestra fue reducido.
- Se recomienda realizar el análisis de consumo de oxígeno, tanto en juveniles recién eclosionados como en adultos aclimatados a diferentes temperaturas, para obtener más información acerca de los ajustes metabólicos a los cambios térmicos.
- Se recomienda aclimatar a diferentes temperaturas a los juveniles, así como a los adultos, para poder realizar el análisis de ácidos grasos que permita identificar cuáles son los ajustes a nivel lipídico al cambio en la condición térmica.

## Referencias bibliográficas

- Ambrose, R.F. 1988. Population dynamics of *Octopus bimaculatus*: influence of life history patterns, synchronous reproduction and recruitment. *Malacologia* 29 (1): 23 – 39p.
- Angilletta, M. J., P. H Niewiarwski y C.A. Navas. 2002. The evolution of thermal physiology in ectotherms. *Journal of Thermal Biology*. 27: 249-268p.
- Baltantyne, L.S., Hochachka, P.W y Mammsen, T.P. 1981. Studies on the metabolism of the migratory squid, *Loligo opalescens* enzymes of tissues and heart mitochondria. *Marine Biology letters* 2:75-85p.
- Barber, R. Mooers, C., Bowman, M y Zeitzschel, B. 1983. Osmoregulation in estuarine and marine animals. Springer-Verlag. 221 p.
- Beitinger, T.L., Bennett, W.A y McCauley, R.W. 2000. Temperature tolerances of North American Freshwater fishes exposed to dynamic changes in temperature. *Environ. Biol. Fish.* 58: 237 – 275p.
- Bell, M.V., R.J. Henderson y J.R. Sargent. 1986. The role of polyunsaturated fatty acid in fish. *Comp. Biochem. Physiol.* 4: 711-719p.
- Bligh E. G., W. J. Dyer. 1959. A Rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37(8): 911-917p.
- Brett, J. R. 1971. Energetic responses of salmon to temperature. A study of some relations in the physiology and freshwater ecology of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka*. *Amer.Zool.* 11: 536-541p.
- Brougher, P.S., Douglass, L.W y Soares, J.H. 2005. Comparative oxygen consumption and metabolism of striped bass *Morone saxatilis* and its hybrid *M. chrysops* ♀ x *M. saxatilis* ♂. *J. World Aqua. Soc.* 36: 521-529p.
- Brusca, R.C. y G. J. Brusca. 1990. Invertebrates. Sinauer. New York. 922 p.
- Bückle R., L. F., B. Barón S., M. Hernández R., A. Ledo M., R. Solís A., B. Pérez E. y A. Hernández S. 2003. Sistema de temperatura, oxígeno y salinidad para la experimentación en ecofisiología. *Hidrobiológica* 13 (4): 277-287p.
- Bückle, R., L. F., F. Díaz, F. Correa, B. Barón y M. Hernández. 1994. Diel thermoregulation of the crawfish *Procambarus clarkii* (Crustacea: Cambaridae). *J. Therm. Biol.* 19:419-422p.

- Buckley, B.A., Owen, M.E y Hofmann, G.E. 2001. Adjusting the thermostat: the threshold induction temperature for the heat-shock response in intertidal mussels (genus *Mytilus*) changes a function of thermal history. J. Exp. Biol. 204: 3571 – 3579p.
- Campbell, N.P y Reece, J.B. 2005. Biología. Editorial Médica Panamericana, 1532p.
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca-Secretaría de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (CONAPESCA-SAGARPA) 2005. Carta Nacional Pesquera. Recuperado de: [http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona\\_la\\_paz\\_baja\\_california\\_sur\\_27\\_de\\_julio\\_de\\_2005](http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona_la_paz_baja_california_sur_27_de_julio_de_2005)
- Cerezo Valverde, J., Hernandez M.D., Garcia Garrido, S., Rodrigues, C., Estefanell, J., Garin, J.I., Rodriguez C.J., Tomas A.,Garcia Garcia B. 2011. Lipid clases from marine species and meals intended for cephalopod feeding. Aquaculture International. 20: 71-89p.
- Delgado-González, O., Marván-Gargollo,F., Mejía-Trejo, A., Gil-Silva, E. 2012. San Quintín Lagoon Hydrodynamics Case Study. Recuperado de <http://www.intechopen.com/download/get/type/pdfs/id/32912>
- Despatie S.P., M. Castonguay y D. Chabot. 2001. Final Termal Preferendum of Atlantic Cod: Effect of Food Ration. Transactions of the American Fisheries Society. 130:263-275p.
- Di Cosmo, A., C. Di Cristo y M. Paolucci. 2001. Sex steroid hormone fluctuations and morphological changes of the reproductive system of the female of *Octopus vulgaris* throughout the annual cycle. J. Exp. Zoo. 289: 33-47p.
- Domain, F., D. Jouffre y A. Caverivière. 2000. Growth of *Octopus vulgaris* from tagging in Senegalese waters. J. Mar. Biol. Ass. U. K., 80:699-705p.
- Ferguson, R.G. 1958. The preferred temperature of fish and their midsummer distribution in temperate lakes and streams. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 15(4): 607-624p.
- Forsythe, J.W., Hanlon, R.T. 1988a. Behavior, body patterning and reproductive biology of *Octopus bimaculoides* from California. Malacologia 29 (10) 40 – 56p.
- Forsythe, J.W., Hanlon, R.T. 1988b. Effect of temperature on laboratory growth, reproduction and life span of *Octopus bimaculoides*. Marine Biology 98, 369-379p.

- Fry, F.E.J. 1947. Effect of the environment on animal activity. Ontario Fish. Res. Lab. Publ. 68: 1 – 62p.
- Fuentes, L. 2004. Técnicas de cultivo, marcado y repoblacion del pulpo *Octopus vulgaris*. (Tesis doctoral) Facultad de Ciencias, Departamento de Biología Funcional y Ciencias de la Salud, Universidad de Vigo. Galicia, España.
- García-Garrido, S., Hachero-Cruzado I., Rosa, C., Domingues P., 2010. Lipid composition of the mantle and digestive gland of *Octopus vulgaris* juveniles (Cuvier, 1797) exposed to prolonged starvation. *Aquaculture International* 18 (6), 1223 – 1241p.
- García-García, J., Cerezo-Valverde, J., 2006. Optimal proportions of crabs and fish in diet for common octopus (*Octopus vulgaris*) on growing. *Aquaculture* 253,502-511p.
- Giattina, J. D. y Garton R.R. 1982. Graphical model of thermoregulatory behaviour by fishes with a new measure of eurythermality. *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Science* 39, 524 – 528p.
- Hazel, J. R. 1988. Homeoviscous adaptation in animal cell membrane. *Annual Rev. Physiol.* 57: 149-188p.
- Hazel, J.R. 1995. Thermal adaptation in biological membranes: is homeoviscous adaptation the explanation? *Annual Review of Physiology*, 57: 19-42p.
- Hill, R.W. 2007. Fisiología animal comparada, Reverté. 920p.
- Hochachka P. y Somero G. 1973. Strategies of Biochemical Adaptation. Cambridge University Press. 358 p.
- Iglesias, J., Sánchez, F.J., Otero, J.J., Moxica, C., 2000. Culture of octopus (*Octopus vulgaris*, Cuvier). Present knowledge, problems and perspectives. *Cah. Options Méditerran.* 47, 313–321p.
- Itami, K., Izawa, Y., Maeda, S. y Nakay, K. 1963. Notes on the laboratory culture of the octopus culture. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 29, 514-520p.
- Jiménez, M., 2013. Boletín UNAM-DGCA, Recuperado de: <http://campusmexico.mx/2013/07/18/el-umdi-logra-la-cria-de-pulpos-en-sisal/>
- Lee, P.G. 1994. Metabolic substrates in cephalopods. *Physiology of cephalopods Molluscs, life style and performance adaptations.* *Mar. Behav. Physiol.*(7) 33-51p.



- Mangold K. 1983. *Octopus vulgaris*. In: Cephalopod life cycles. Marine Behaviour and Physiology. 9,
- Mangold, K y Boletzky, S. 1973. New data on reproductive biology and growth of *Octopus vulgaris*. Mar. Biol. 19, 7– 12p.
- Martin, D.W. 1982. Bioquímica de Harper. Ed. Martin, D.W., V.W. Rodwell y P.A. Mayes. 633p.
- McCauley, R.W. 1977. Laboratory methods for determining temperatures preference. J. Fish. Res.Board. Can. 34: 749 - 752p.
- McCauley, R.W. y Casselman, J.M. 1981 The final preferendum as an index for optimum growth in fish. Proceedings of the World Symposium of Aquaculture. Heated. Effluents. Recirculations Systems, 11: 81-93p.
- Navarro, J.C, Villanueva, R., 2000. Lipid and fatty acid composition of early stages of cephalopods: an approach to their lipid requirements. Aquaculture 183, 161-177p.
- Navarro, J.C., Villanueva, R., 2003. The fatty acid composition of *Octopus vulgaris* paralarvae reared with live and inert food: deviation from their natural fatty acid profile, Aquaculture 219, 613 -631p.
- Noyola, J., Caamal-Monsreal, C., Díaz, F., Re, D., Sánchez, A., Rosas, C. 2013a. Thermopreference, tolerance and metabolic rate of early stages juvenile *Octopus maya* acclimated to different temperatures. Journal of Thermal Biology 38 (1) 14 -19.
- Noyola, J., Mascaró, M., Caamal-Monsreal, C., Noreña-Barroso, E., Díaz, F., Re, D., Sánchez, A., Rosas, C. 2013b. Effect of temperature on energetic balance and fatty acid composition of early juveniles of *Octopus maya*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol 445, 156-165p.
- O'Dor, R.K. y Wells M.J. 1987. Energy and nutrient flow. Cephalopod Life Cycles. Ed. Boyle Cap.2 109-133p.
- Oltra, R., M. Roig, F. Alemany y F. Mezquita. 2005. Engorde de pulpo (*Octopus vulgaris*) en el Puerto de Denia (Alicante). VII Foro do Recursos Marinos e da Acuicultura das Rias Galegas: 251-257p.
- Pande, S. V., Pavin, R. K. y Venkitasubramanian, T. A. 1963. Microdetermination of lipids and serum total fatty acids. Analytical Biochemistry 6: 415-423p.
- Paust, B.C. 2000. Fishing for octopus. A guide for comercial fishermen. Report No. 88-03. 48p.

- Pérez-Pérez, M., A. Wakida-Kusunoki, R. Solana-Sansores, Burgos-Rosas, R. y J. Santos. 2006. La pesquería de pulpo. INAPESCA-SEMARNAT. 544 p.
- Pickford, G. E., McConnaughey, B.H. 1949. The *Otopus bimaculatus* problem: a study in sibling species. Bull. Bingham oceanogr. 12(4): 1 -66p.
- Pigliucci, M. 1996. How organisms respond to environmental changes from phenotypes to molecules (and vice versa). Trends Ecol. Evol. 11: 160-173p.
- Prosser L. 1978. Comparative Animal Physiology. Am. Zoo. 24:791-804p.
- Pruitt, N.L., 1988. Membrane lipid composition and overwintering strategy in thermally-acclimated crayfish. American Journal of Physiology 254: 870-876p.
- Ramírez, P. 2008. Aspectos básicos sobre la biología del pulpo *Octopus mimus* y su posibilidad de engorde en jaulas flotantes. Recuperado de: <http://www.imarpe.gob.pe/chiclayo/miscelania/proyectos/pulpo/pulpo.htm>
- Reynolds, W.W.y Casterlin, M.E. 1979. Behavioral thermoregulation and the Final preferendum paradigm. Am. Zool., 19:211 – 224p.
- Robertson, J. C. y J. R. Hazel. 1996. Membrane Constraints to Physiological Function at different temperatures: does cholesterol stabilize membranes at elevated temperatures? Society for experimental biology seminar series 61: 24-49p
- Rodriguez, C., F.J. Carrasco, J.C. Arronte, M. Rodriguez. 2006. Common octopus (*Octopus vulgaris* Cuvier, 1797) juvenile ongrowing on floating cages. Aquaculture 254: 293-300p.
- Roper, C.F.E., M.J. Sweeney & C.E. Nauen. 1984. FAO species catalogue. Cephalopods of the world. Annotated and illustrated catalogue of species of interest to fisheries. FAO Fish. Synop., 125 (3): 277 p.
- Rosa, R., Costa, P.R., Nunes, M.L. 2004. Effect of sexual maturation on the tissue biochemical composition of *Octopus vulgaris* and *O. defilippi* (Mollusca: Cephalopoda) Marine Biology 145, 563 – 574p.
- Rosa, R., Nunes, L., Sousaras, C. 2002. Seasonal changes in the biochemical composition of *Octopus vulgaris* Cuvier 1797, from three areas of the Portuguese coast. Bulletin of Marine Science 71, 739 – 751p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2008. Programa Rector Nacional de Pesca y Acuicultura, Recuperado de:

[http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/programa\\_rector\\_nacional\\_de\\_pesca\\_y\\_acuacultura\\_su](http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/programa_rector_nacional_de_pesca_y_acuacultura_su)

- Salvato, B., Cuomo, V., Di Mauro, R., Beltramini, M. 2001. Effects of environmental parameters on the oxygen consumption of four marine invertebrates: a comparative factorial study. *Mar. Biol.* 138: 659 – 668.
- Seixas, P. 2009. Composición bioquímica y crecimiento de paralarvas de pulpo (*Octopus vulgaris*, Cuvier 1797) alimentadas con juveniles de *Artemia* enriquecidos con microalgas y otros suplementos nutricionales (Tesis doctoral) Universidad de Santiago de Compostela, Galicia, España.
- Sieiro, M.P, Aubourg, S.P., Rocha, F., 2006. Seasonal study of the lipid composition in different tissues of the common octopus (*Octopus vulgaris*). *European Journal of lipid science and technology* 108, 479 -487p.
- SOFIA 2012. The state of world fisheries and aquaculture. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/016/i2727e/i2727e00.htm>
- Taylor, R.C. 1984. Thermal preference and temporal distribution in three crawfish species. *Comp. Biochen. Physiol.* 77A: 513- 517p.
- Thompson, G.A. 1989. Membrane acclimation by unicellular organism in response to temperature change. *Journal of Bioenergetics and Biomembranes* 21:43-59p.
- Tocher, D.R. y Sargent, J.R. 1984. Analysis of lipids and fatty acids in ripe roes of some northwest European marine fish. *Lipids*, 19: 492-499p.
- Tuckey, J.W. 1977. *Exploratory data analysis*. Addison – Wesley. Pub. Co. Massachusetts 688 p.
- Vaez P.; Seixas, P.; y Barbosa, A. 2004. Acuaculture potencial of the common octopus (*Octopus vulgaris* Cuvier, 1797). *Aquaculture* 238 (13) 221-238 p.
- Villanueva, R. 1995. Experimental rearing and growth of planktonic *Octopus vulgaris* from hatching to settlement. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 52, 2639-2650p.
- Zamora, C. M y Olivares, P. A. 2004. Variaciones bioquímicas e histológicas asociadas al evento reproductivo de la hembra de *Octopus mimus* (Mollusca:Cephalopoda). *Int. J. Morphol.*, 22(3):207-216p.
- Zlatanov, S, Laskariodis, K., Feist, C., Sagredos A. 2006. Proximate composition, fatty acid and protein digestibility - corrected amino acid score of three mediterranean cephalopods. *Molecular nutrition and food Research* 50, 967-970p.

Zúñiga O., Olivares, A., Rojo, M., Chimal, M.E., Diaz, F., Uriarte, I., Rosas, C. 2012. Thermoregulatory behavior and oxigen consumption of *Octopus mimus* paralarvae: The efect of age. Journal of Thermal Biology 38 (2013) 86 -91p.