

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS



**EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL CRECIMIENTO Y LA
FISIOLOGÍA ALIMENTICIA EN JUVENILES DE ALMEJA
"CHILUDA" *Panopea globosa* (Dall 1898).**

TESIS

QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFIA COSTERA

PRESENTA

DANIELA RODRÍGUEZ GONZÁLEZ

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MEXICO. MARZO 2013

RESUMEN

Durante 5 semanas se evaluó el efecto de la temperatura (17, 20, 23 y 26 °C) sobre el crecimiento y fisiología alimenticia (tasa de aclaramiento, TA y tasa de ingestión, TI) de juveniles aclimatados de la almeja *Panopea globosa* (Longitud inicial = 1.09 ± 0.025 mm; Peso vivo = 2.51 ± 0.56 mg; Peso seco = 0.15 ± 0.05 mg; Peso orgánico = 0.04 ± 0.01 mg). Los organismos fueron alimentados diariamente con *Isochrysis galbana* (clone T-ISO) a una ración equivalente al 4–12 % de su peso vivo, dependiendo de la temperatura. Semanalmente los organismos se midieron y pesaron para evaluar el crecimiento. Las TA y TI fueron evaluadas únicamente entre la segunda y cuarta semana, y el coeficiente de temperatura (Q_{10}) se estimó para ese intervalo de tiempo. Al final del experimento los organismos cultivados a 23 °C mostraron la mayor longitud (4.5 ± 0.31 mm) y peso orgánico (1.18 ± 0.22 mg), seguido por los de 20 °C, mientras que los valores más bajos se registraron a 26 y 17 °C (3.76 y 3.84 mm; 0.57 y 0.79 mg, respectivamente). Las máximas tasas de crecimiento (TC) se observaron a 23 °C (125 $\mu\text{m}/\text{día}$) y 20 °C (109 $\mu\text{m}/\text{día}$). Las más bajas se observaron en las temperaturas extremas. En contraste, las mayores TA y TI fueron observadas a 26 °C (40 $\text{ml mg}^{-1} \text{h}^{-1}$ y 99.6 $\text{mg g}^{-1} \text{h}^{-1}$), y las más bajas a temperaturas intermedias (20 y 23 °C). Los juveniles de *P. globosa* sobrecompensaron en la temperatura más baja y subcompensaron en la temperatura más alta, mientras que a 20–23 °C se observó un valor de $Q_{10}=2.1$. En conjunto, los resultados anteriores sugieren

que el intervalo de temperatura óptima para el crecimiento y el desempeño fisiológico de los juveniles de *P. globosa* se encuentra entre los 20 y 23 °C. El presente estudio también permitió proyectar el crecimiento potencial de los juveniles de *P. globosa* en el campo.

Palabras clave: temperatura, crecimiento, tasas de ingestión, Q_{10} , *Panopea globosa*.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS
POSGRADO EN OCEANOGRAFIA COSTERA

**EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL CRECIMIENTO Y LA FISIOLÓGIA
ALIMENTICIA EN JUVENILES DE ALMEJA "CHILUDA" *Panopea globosa*
(Dall 1898).**

TESIS

QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

PRESENTA

DANIELA RODRÍGUEZ GONZÁLEZ

Aprobada por:



Dr. Zaúl García Ezquivel
Director de tesis



Dr. Fernando Díaz Herrera
Sinodal



M en C. Antonio Silva Loera
Sinodal

A ti que me enseñaste el verdadero significado de la lealtad...

A ti que siempre me das tu confianza...

A ti compañero de viaje ...

A ti por aceptar mi corazón y darme el tuyo...

... a Chubo por ser mi todo

AGRADECIMIENTOS

Con mucho respeto y admiración al Dr. Zaúl García Ezquivel, le agradezco por todo el apoyo, dedicación y paciencia que me ha tenido. Gracias por las pláticas, consejos y regaños que me lleve en los momentos mas difíciles, creo que sin ellas esto no hubiera concluido. Pero sobre todo le agradezco enormemente su amistad.

A mis padres Miguel Angel Rodríguez Cervantes y María del Refugio González Silva y a mis hermanas mis hermanas Anahy y Anabel por su apoyo y comprensión incondicional en esta aventura que decidí emprender hace tres años no hubiera sido posible este logro en mi vida. Ustedes me han demostrado que todo es posible, los amo con toda mi alma, gracias por ser la mejor familia del mundo.

Alejandro de León gracias por formar parte importante en este proceso, por ser mi amigo y por permitirme ser la tuya. Te agradezco por las pláticas, las risas, los regaños, los agarrones del chongo y todo lo demás que hemos compartido. Gracias por tu apoyo incondicional en todo momento.

Gracias a mis amigos chilangos (Mónica, Adriana, Delary, Marco, Arturo, Luis Fer, Jose Luis) por demostrarme que los amigos no juzgan y que al contrario siempre ahí para escuchar, aconsejar y apoyar. Gracias por no dejarme caer y rendirme en mis momentos de tristeza. Extraño mucho las locuras que hemos vivimos juntos. Los amo mucho amigos.

A mis amigas(os) de Ensenada les agradezco por esos momentos de aprendizaje y convivencia que hemos pasado juntos. En especial a Gaby, Victor, Sandra, Ale, Jorge, Aurora, Omar, Armando, Nevia. Gracias totales.

Por último, pero sin ser menos importante. Agradezco a CONACYT por haberme proporcionado la oportunidad de crecer profesional y personalmente. A los investigadores del Instituto de Investigaciones Oceanológicas y a los de la Universidad Autónoma de Baja California por brindarme una educación de excelencia durante este proceso.

CONTENIDO

RESUMEN	I
APROBACION DE TESIS	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS	V
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABLAS	X
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	4
2.1. <i>Generalidades de la especie</i>	4
2.2. <i>Efecto de la temperatura</i>	5
2.3. <i>Crecimiento</i>	6
2.4. <i>Tasas fisiológicas</i>	7
2.5. <i>Coeficiente de temperatura (Q₁₀)</i>	8
3. JUSTIFICACIÓN	12
4. HIPÓTESIS	13
5. OBJETIVOS	14
5.1. <i>Objetivo general</i>	14
5.2. <i>Objetivos específicos</i>	14
6. MATERIAL Y MÉTODOS	15
6.1. <i>Organismos y Diseño Experimental</i>	15
6.2. <i>Evaluaciones</i>	16
6.2.1 <i>Crecimiento en talla</i>	16
6.2.2 <i>Peso</i>	16
6.2.3 <i>Tasas de aclaramiento (TA) e ingestión (TI)</i>	17
6.2.4 <i>Coeficiente de Temperatura (Q₁₀)</i>	18
6.3. <i>Análisis estadístico</i>	19
7. RESULTADOS	20

7.1. <i>Crecimiento en talla</i>	20
7.2. <i>Peso</i>	23
7.3. <i>Tasas de aclaramiento (TA) e ingestión (TI)</i>	25
7.4. <i>Coeficiente de Temperatura (Q_{10})</i>	28
8. DISCUSIÓN	29
8.1. <i>Crecimiento</i>	29
8.2. <i>Tasas de aclaramiento (TA) e ingestión (TI)</i>	32
8.3. <i>Coeficiente de Temperatura (Q_{10})</i>	34
9. CONCLUSIONES	36
10. REFERENCIAS.....	37

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1.** Curvas teóricas de compensación fisiológica de organismos acúaticos con un cambio de temperatura de T_1 a T_2 (Modificado de la Fig. 6.17 de Schmidt–Nielsen, 1998)9
- FIGURA 2.** Posibles efectos de la temperatura sobre tasas metabólicas de peces. Las líneas continuas indican respuestas “agudas” a diferentes temperaturas. Las líneas discontinuas representan dos posibles tipos de compensación térmica, observados cuando la temperatura de aclimatación es igual a la temperatura. La línea A–C–D indica compensación parcial, mientras que A–B–E muestra compensación completa. (Modificado de la Fig. 8.2 de Jobling, 1994)10
- FIGURA 3.** Cambios temporales en la longitud de la concha de semillas de *P. globosa* expuestas a 4 temperaturas. Los datos son los promedios de las tres repeticiones para cada temperatura \pm el error estándar20
- FIGURA 4.** Relación entre tasas de crecimiento de las semillas de almeja *Panopea globosa* y temperatura de cultivo22
- FIGURA 5.** Relación entre la longitud (mm) y el ancho (mm) de la concha de semillas de la almeja *Panopea globosa*23
- FIGURA 6.** Cambios temporales en el peso orgánico (peso libre de cenizas) de semillas de *P. globosa* sometidas a 4 temperaturas. Los datos son los promedios de las tres repeticiones para cada temperatura \pm el error estándar23
- FIGURA 7.** Relación longitud-peso orgánico exhibido por las semillas de la almeja *Panopea globosa* sometidas a temperaturas entre 17 y 26 °C25
- FIGURA 8.** Tasas de aclaramiento (a) y tasas de Ingestión peso–específicas (b) exhibidas por semillas de la almeja *Panopea globosa* cultivadas a

diferentes temperaturas. Los datos son los promedios de las tres replicas para cada temperatura \pm el error estándar26

FIGURA 9. Datos de mensuales de la temperatura superficial del mar para el área de San Felipe. La línea continua representa las temperaturas reportadas por Calderón-Aguilera (2010) con excepción de Nov-Dic que se promediaron con las reportadas por Sánchez León–Hing (2012) La línea discontinua representa la temperatura predicha mediante el ajuste polinomial de segundo grado31

FIGURA 10. Tasas de crecimiento mensuales en función de la temperatura (Línea negra), así como la talla acumulada (línea discontinua) predicha para San Felipe mediante un ajuste polinomial de segundo grado 32

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Ecuaciones de ajuste entre el tiempo (días) y el peso orgánico (PO, mg) de semillas de *P. globosa cultivadas* a cuatro temperaturas. El coeficiente de determinación (R^2) también está indicado en cada caso24

Tabla II. Resumen de tasas peso-específicas de aclaramiento (TA), ingestión (TI) y ración de alimento demandado (RAD) por las semillas de la almeja *Panopea globosa* sometidas a distintas temperaturas. La RAD está expresada como porcentaje del peso vivo (PV), del peso seco (PS) y del peso orgánico (PO). Los datos son los promedios de tres replicas para cada temperatura \pm el error estándar27

Tabla III. Coeficiente de temperatura (Q_{10}) calculados a partir de las tasas de ingestión exhibidas por las semillas de la almeja *Panopea globosa* cultivadas a distintas temperaturas28

Tabla IV. Temperaturas óptimas de cultivo (TO) y valores de Q_{10} , reportados para diversas especies de moluscos bivalvos (TP = Intervalo de temperatura en el que se cálculo el Q_{10})	35
--	----

1. INTRODUCCIÓN

La temperatura es un factor que regula el inicio y/o la velocidad a la que ocurren muchos de los procesos fisiológicos corporales y celulares de organismos acuáticos, y determina en gran medida los límites de distribución latitudinal de estos. Los procesos fisiológicos son complejos e implican tanto fenómenos físicos (difusión, absorción) y químicos (reacciones enzimáticas) dependientes de la temperatura (Lodeiros et al., 2001; Randall, 1998). El crecimiento es una de las variables fisiológicas más importantes de cualquier organismo, ya que representa el balance neto de entradas y salidas de energía y está afectado por la temperatura. La temperatura óptima para un organismo está definida como la temperatura a la cual se obtiene la mayor cantidad de energía neta disponible para crecimiento, mantenimiento, movimiento, y otros. Esta puede variar no sólo entre especies, sino también a lo largo del desarrollo ontogenético de un organismo (Newell et al., 1977; Bayne, 1983 y Laing et al., 1987). Cuando los organismos se someten a regímenes térmicos fuera del óptimo se produce una alteración directa de las tasas fisiológicas, por lo que el crecimiento puede verse comprometido, retardándose o incluso inhibiéndose completamente.

En general, hay organismos que mantienen su temperatura corporal dentro de cierto intervalo, independientemente de la temperatura ambiental y se conocen como homeotermos (mamíferos y las aves). Los organismos poiquilotermos (mayoría de organismos acuáticos, invertebrados y reptiles) ajustan su temperatura corporal a la del ambiente externo. Asimismo, sus

tasas fisiológicas varían en proporción directa a la temperatura a la que están expuestos, aunque pueden presentar cierta capacidad de regulación o compensación en intervalos cercanos a su preferendo térmico. El efecto de la temperatura se ha estudiado en un sin número de especies de bivalvos de importancia comercial a partir de evaluaciones fisiológicas, y particularmente por medio de la cuantificación de tasas de aclaramiento e ingestión. Estas, al igual que la tasa metabólica son variables sensibles a los cambios de temperatura y por lo tanto pueden ser utilizadas para evaluar las respuestas fisiológicas a nivel corporal. La tasa de bombeo de un organismo filtroalimentador se define como el volumen total de agua filtrada por el animal en un intervalo definido de tiempo, mientras que la tasa de aclaramiento (TA) es definida como el volumen de agua en el cual todas las partículas contenidas en el son capturadas por el aparato filtrador del organismo por unidad de tiempo (Omori e Ikeda, 1992). Finalmente, la tasa de ingestión (TI) se define como la cantidad de alimento ingerido por un organismo filtrador por unidad de tiempo (Winter 1978). Tanto la TA como la TI se estiman a partir de la cantidad de alimento particulado filtrado por los organismos, de acuerdo a las ecuaciones de Coughlan (1969) y Paffenhöffer (1971) respectivamente.

El efecto de la temperatura sobre la fisiología alimenticia de moluscos bivalvos está ampliamente documentado en la revisión de Navarro (2001), e incluyen especies como el callo de hacha *Atrina maura*; el ostión japonés *Crassostrea gigas*; la almeja catarina *Argopecten ventricosus*; la ostra común *Ostrea edulis*; el berberecho *Cerastoderma edule*; el mejillón azul

Mytilus edulis; la almeja fina *Ruditapes decussatus*; el ostión americano *Crassostrea virginica*, y la almeja *Venerupis pullastra*, entre otros.

Las tasas fisiológicas en la mayoría los organismos poiquiloterms se duplican o triplican por cada 10 °C de aumento o disminución de la temperatura. Este patrón de respuesta ha hecho posible la generación de un índice fisiológico conocido como coeficiente de temperatura o Q_{10} . El cual es calculado mediante la ecuación de Van't Hoff como sigue:

$$Q_{10} = (K_2/K_1)^{10/(t_2-t_1)}$$

Donde:

Q_{10} = Coeficiente de temperatura

k_1 y k_2 = Tasas fisiológicas a diferentes a las temperaturas t_2 y t_1

t_1 = Temperatura inicial

t_2 = Temperatura final

2. ANTECEDENTES

2.1. Generalidades de la especie

En la península de Baja California, México, habitan dos especies del género *Panopea* (*P. generosa* y *P. globosa*), conocidas también con el nombre común de almeja generosa o almeja chiluda. *P. generosa* es una especie de hábitats templados – fríos reportada desde Isla de Cedros hasta Canadá, mientras que *P. globosa* es una especie subtropical distribuida por todo el Golfo de California desde San Felipe hasta bahía Magdalena en el Pacífico. Esta última tolera un intervalo de temperatura de 16 – 32 °C en su hábitat natural (Calderón–Aguilera et al., 2007 y Arambula–Pujol et al., 2008). Ambas especies de almejas presentan alto potencial económico.

La mayoría de las investigaciones sobre la biología de *P. globosa* se iniciaron en la década pasada, y actualmente existen datos publicados sobre su ciclo reproductivo (Aragón–Noriega et al., 2007, Arambula–Pujol et al., 2008 y Calderón–Aguilera et al., 2010), taxonomía (Rocha–Olivares et al., 2010 y Suárez–Moo et al., 2012), la determinación de edad y crecimiento a partir de análisis de la concha (Cortez–Lucero, 2011 y Cruz–Vásquez 2012), así como el diagnóstico del estado actual de la pesquería de *P. globosa* en México (Aragón–Noriega et al., 2012). Sin embargo, actualmente no existen estudios enfocados en los requerimientos ambientales para el crecimiento y/o la fisiología corporal, lo cual es fundamental para fines de cultivo en condiciones controladas.

2.2. Efecto de la Temperatura

El efecto de la temperatura sobre los procesos fisiológicos corporales tales como el crecimiento, alimentación, y metabolismo, han sido estudiados en un amplio número de especies de interés acuacultural, ya que la respuesta de estas variables en función de la temperatura permite establecer las bases para el desarrollo de tecnologías de cultivo, al definir los rangos de óptimos y subóptimos (González–Estrada, 2003). Para poder definir la temperatura óptima de cultivo de estos organismos es necesario que estos sean expuestos a un período de aclimatación, el cual se define como el tiempo que requiere un organismo para realizar los ajustes fisiológicos necesarios en respuesta a los cambios térmicos bajo condiciones de laboratorio (Schmidt–Nielsen, 1998). Cuando ocurren cambios súbitos de temperatura generalmente los organismos aumentan o disminuyen de forma excesiva sus tasas fisiológicas. Esto se conoce como respuesta aguda, la cual tendrá una corta duración para después estabilizarse por encima o por debajo de sus intervalos normales, dependiendo de la temperatura de prueba (Schmith–Neilsen, 1998).

Diferentes bivalvos han sido estudiados previo a un período de aclimatación, tales como *Mytilus edulis* (Widdows et al., 1971) *Mya arenaria* (Lewis et al., 1986), *T. decussata* (Laing et al., 1987), *T. semidecussata* (Laing et al., 1987), *Mercenaria mercenaria* (Laing et al., 1987), *Venerupis pullastra* (Albentosa et al., 1994), *Crassostrea gigas* (Bougrier, 1995), *R. philiphilinarum* (Nam–Ham et al., 2008), entre otros. En todos los casos el período de aclimatación generalmente duro entre 5 y 7 días.

2.3. Crecimiento

Se ha reportado que los moluscos bivalvos presentan dos tipos de patrones de crecimiento, el primero de tipo lineal o isométrico para el aumento de tamaño de la concha a través del tiempo, mientras que para el peso se reporta un patrón de tipo exponencial o alométrico (Bayne, 1976). Por otro lado, al evaluar el efecto de la temperatura sobre las tasas de crecimiento en moluscos bivalvos se observa un patrón parabólico, es decir, los organismos crecen conforme aumenta la temperatura hasta llegar a su máximo crecimiento y un óptimo térmico, después de ese punto los organismos decrecen o cesan su crecimiento aun cuando siga aumentando la temperatura (Bayne, 1976; Laing et al., 1987; Albentosa et al., 1994; Sicard et al., 1999 y Nam–Ham et al., 2008).

El crecimiento es una de las variables fisiológicas más importantes a medir en moluscos bivalvos, siendo los mejillones y ostiones los organismos mas estudiados, mientras que se le ha dado poco enfoque a las diferentes especies de almejas (Widdows, 1973; Bayne, 1976). Sin embargo, dentro de las especies de almejas que han sido estudiadas se encuentran *Mya arenarina*, *Mercenaria mercenaria*, *Tapes decussata*, *Tapes semidecussata*, *Venerupis pullastra*, *Ruditapes philiphilinarum*, estos organismos infaunales que presentan sus máximas tasas de crecimiento a una temperatura de 20 °C de acuerdo a los reportado por diversos autores (Bayne, 1983; Laing et al., 1987; Albentosa et al., 1994; Nam–Ham et al., 2008).

2.4. Tasas fisiológicas

La tasa alimenticia esta representada por la tasa de aclaramiento (TA) y la tasa de ingestión (TI), entre otras (Albentosa et al., 1994). Varios autores han utilizado las TA y TI como una herramienta cuantitativa para detectar las adaptaciones térmicas de los moluscos bivalvos, así como para definir límites de tolerancia y valores óptimos en los cuales los organismos pueden ser cultivados en el laboratorio, debido a que estas tasas están influenciadas por la temperatura. Por otro lado, cabe resaltar que la TI forma parte importante en la ecuación del presupuesto energético en moluscos, debido a que representa las entradas de energía de dicho presupuesto, el cual esta definido como el balance neto de las entradas (ingestión) y salidas (Respiración + Heces + Excreción) de energía que se ven reflejadas en el crecimiento. Por lo tanto, esta tasa es un indicador sensible de la condición fisiológica de estos organismos.

La estimación de las tasas alimenticias se puede realizar de forma indirecta midiendo la remoción de alimento ofrecido de un volumen de agua por unidad de tiempo, por medio de la ecuación de Coughlan (1969).

Las TI en función de la temperatura en moluscos bivalvos presentan un su mayoría un comportamiento las tasas de crecimiento, es decir presentan un patrón parabólico (Hibbert, 1977; Grizzle, 2001). Esto ya ha sido estudiado por diversos autores, por ejemplo Albentosa et al. (1994) encontraron que *Venerupis pullastra* aumenta su TI en un intervalo de temperatura de 10 – 20 °C y que esta disminuye drásticamente después de los 20 °C obteniendo máximos crecimientos a 20 °C. Mientras que Sicard et

al. (1999) encontraron que los juveniles de *Argopecten ventricosus* aumentan sus TI en el intervalo de temperatura de 16 – 22 °C y que después de los 25 °C decrece significativamente, determinando que la temperatura óptima para el crecimiento de estos organismos esta en el intervalo de 19 – 22 °C. Nam–Ham et al. (2008) reportan que *R. philiphylinarum* aumenta su TI en el intervalo de 5 – 25 °C. Sin embargo, también se ha documentado que las tasas fisiológicas pueden ser independientes de la temperatura en algunos moluscos bivalvos. Por ejemplo, Widdows (1976) reportó que la TA del mejillón *Mytilus edulis* fué independiente de la temperatura en un intervalo de 5 – 20 °C. Mas allá de los 20 °C ocurrió un rompimiento de los mecanismos fisiológicos de compensación térmica, lo cual llevó a una disminución de la capacidad de filtración de los mejillones, resultando valores de crecimiento potencial cercanos a cero o negativos Widdows (1976). Kirby–Smith (1970) también reportaron una indepedencia de la tasa de aclaramiento de *Argopecten irradians* en un intervalo de temperatura de 10 a 26 °C, pero mostró una marcada reducción a 5 °C.

2.5. Coeficiente de temperatura (Q_{10})

El coeficiente de temperatura mejor conocido como Q_{10} es un índice fisiológico se utiliza para referir el efecto de la temperatura sobre las velocidades de reacción y específicamente se define como la razón entre las tasas fisiológicas exhibidas por un organismo a temperaturas con un intervalo de 10 °C de diferencia (Schmith–Nielsen, 1998). Generalmente, los

organismos duplican o triplican sus tasas fisiológicas por cada 10 °C de aumento de la temperatura.

El Q_{10} es aplicado a procesos tan simples como las reacciones enzimáticas y tan complejas como el crecimiento. Está documentado que los procesos puramente físicos como la difusión o la conductividad son prácticamente independientes de los cambios de temperatura y presentan valores típicos de $Q_{10} = 1$. Por otra parte, las reacciones químicas (Ej. reacciones enzimáticas) y los procesos fisiológicos como el metabolismo, ingestión, crecimiento, movimiento, etc. aumentan o disminuyen con el incremento o disminución de temperatura y muestran valores típicos entre 2 y 3, lo cual es indicativo de una falta de compensación que presentan los organismos (Hoar, 1978; Schmidt-Nielsen, 1998) (Fig. 1).

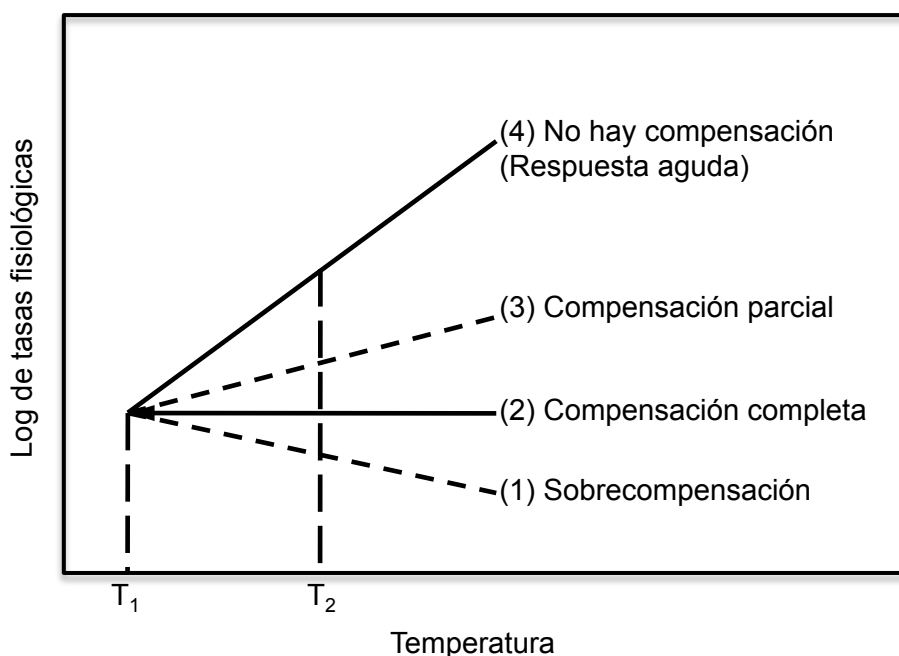


Fig. 1. Curvas teóricas de compensación fisiológica de organismos acuáticos con un cambio de temperatura de T_1 a T_2 . (Modificado de la Fig. 6.17 de Schmidt-Nielsen, 1998).

Hasta ahora existen pocos valores puntuales de Q_{10} asociados a alguna de las curvas mostradas en la Fig. 1. Sin embargo, Jobling (1994) reportó un valor de $Q_{10} = 1.4$ en peces aclimatados a temperaturas entre 5 y 25 °C (Fig. 2), y concluyó que este valor es indicativo de una compensación parcial.

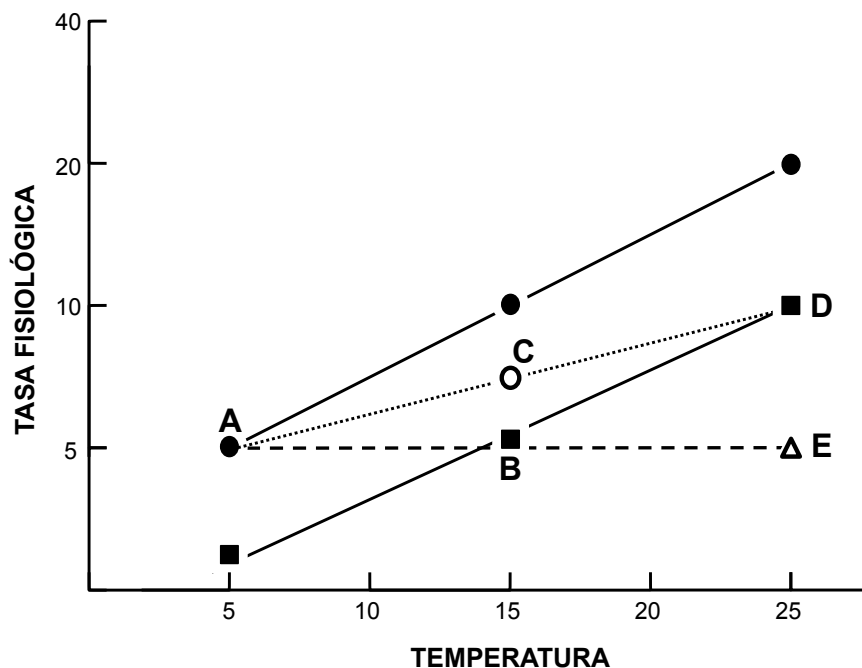


Fig. 2. Posibles efectos de la temperatura sobre tasas metabólicas de peces. Las líneas continuas indican respuestas “agudas” a diferentes temperaturas. Las líneas discontinuas representan dos posibles tipos de compensación térmica, observados cuando la temperatura de aclimatación es igual a la temperatura. La línea A-C-D indica compensación parcial, mientras que A-B-E muestra compensación completa. (Modificado de la Fig. 8.2 de Jobling, 1994)

Cabe resaltar que el Q_{10} ha sido empleado la mayoría de las veces para evaluar la respuesta aguda del efecto de la temperatura, en cuyo caso se obtienen valores de $Q_{10} > 2$. Por otra parte, cuando los organismos son previamente aclimatados, estos pueden desarrollar estrategias de compensación parcial y mostrar valores de Q_{10} entre 1 y 2 (Jobling, 1994).

En general, valores de $Q_{10} > 2$ ó < 1 sin indicativos de la falta o nula capacidad de compensación térmica por parte de los organismos (Schmidt–Nielsen, 1998). Por otra parte, se ha documentado que algunos invertebrados (ectotermos) intermareales que experimentan fuertes cambios en la temperatura ambiental producidas por la bajamar y pleamar, mantienen tasas fisiológicas independientes de la temperatura y por lo tanto exhiben valores de $Q_{10} = 1$ en su tasa metabólica. Esto significa que son capaces de compensar de forma perfecta.

El tiempo determinado para la aclimatación depende de la velocidad a la cual se modifica el tipo o la concentración de enzimas presentes en el organismo. Por lo mismo, el grado de compensación térmica está en función de la especie y el tamaño corporal del organismo (Hoar, 1978; Schmith–Nielsen, 1998).

3. JUSTIFICACIÓN

Panopea globosa es una especie endémica de las costas de la península de Baja California con gran potencial económico debido al alto valor comercial y la alta demanda en el mercado extranjero lo que ha dado lugar a un aumento en la explotación de bancos naturales. Sin embargo, la escasa información que se tiene sobre esta especie es un limitante importante que hace que esta especie sea atractiva para su estudio. Actualmente la información publicada de *P. globosa* se ha enfocado en la biología reproductiva (Calderón-Aguilera et al., 2007; Arámbula-Pujol et al., 2008; Calderón-Aguilera et al., 2010).

Este trabajo pretende cubrir otro aspecto sobre la biología de la especie específicamente la ecofisiología de juveniles de almeja chiluda (*Panopea globosa*), es decir, se pretende evaluar la capacidad biológica de los organismos de responder a las variaciones del medio por medio de estudios bajo condiciones controladas y así poder correlacionar dicha capacidad con las condiciones ambientales presentes en campo con el fin de generar propuestas, lineamientos y/o estrategias de manejo para establecer las bases biotecnológicas para la domesticación de esta especie.

4. HIPÓTESIS

- a) Existe una relación directa entre el crecimiento de semillas de *Panopea globosa* y la temperatura de prueba, en el intervalo de 17 a 26 °C.

- b) En el intervalo de temperatura de 17 a 26 °C, las tasas de aclaramiento e ingestión de las semillas de almeja chiluda, *Panopea globosa*, serán directamente proporcionales.

- c) Las semillas de *P. globosa* serán termoconformadoras en el intervalo de 17 a 26 °C.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general:

Determinar la temperatura óptima para el crecimiento en semillas de almeja chiluda *Panopea globosa*.

5.2. Objetivos específicos:

1. Determinar la tasa de crecimiento de semillas de *P. globosa* sometidas a temperaturas constantes de 17, 20, 23 y 26 °C.
2. Evaluar el efecto de la temperatura sobre las tasas de aclaramiento e ingestión de las semillas *P. globosa*.
3. Determinar si los juveniles de *P. globosa* presentan cierta capacidad de compensación térmica en el intervalo de temperatura de 17 a 26 °C.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Organismos y Diseño Experimental

Se obtuvieron semillas de almeja chiluda de la especie *Panopea globosa* de 30 ± 6 días de edad post-asentamiento producidas en el Laboratorio de Biotecnología de Moluscos del Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California (IIO-UABC). Su talla inicial promedio fue de 1.09 ± 0.025 mm de longitud, 2.51 ± 0.56 mg ind⁻¹ de peso vivo (PV), 0.15 ± 0.05 mg ind⁻¹ de peso seco (PS) y 0.04 ± 0.01 mg ind⁻¹ de peso seco libre de cenizas (PLC).

Al inicio del experimento se colocaron 300 mg (peso húmedo) de semilla de *P. globosa* en tamices de 15 cm de diámetro y 750 µm de luz de malla contenidos dentro de cubetas de plásticos de 6 litros. Estas se transfirieron a una charola de fibra de vidrio con divisiones internas y agua de mar controlada a temperatura constante de 17 °C, 20 °C, 23 °C y 26 °C. El agua dentro de las cubetas se recirculó constantemente mediante un "airlift" colocado entre el tamiz y la pared interna de la cubeta. Se utilizaron un total de 3 cubetas (repeticiones) para cada temperatura. La temperatura en cada compartimento de la charola se mantuvo constante mediante calentadores de titanio de 500 watts con control digital (23 °C, 26 °C y 20 °C). Se utilizó temperatura ambiental para el tratamiento de 17 °C. La temperatura se monitoreó diariamente por las mañanas con un termómetro infrarrojo digital marca STEREN. Los organismos fueron aclimatados

gradualmente a cada temperatura a lo largo de 10 días antes de iniciar la medición de variables fisiológicas. Los datos iniciales de peso y talla se obtuvieron a partir de 3 muestras de 15 organismos cada una.

El recambio de agua y limpieza de las unidades experimentales se realizó cada dos días, utilizando agua de mar fue filtrada por 1 μm y tratada con UV. Cada semana se ajustó la biomasa de organismos en las unidades experimentales a 300 mg. Los organismos se alimentaron diariamente con *Isochrysis galbana* ofrecida a una ración diaria del 2 al 3% del peso seco de los organismos. El ajuste de la ración se hizo semanalmente. Durante cinco semanas los organismos fueron evaluados en términos de longitud de la concha, peso vivo, peso seco y contenido orgánico. Durante la segunda, tercera, y cuarta semana de experimentación se realizaron evaluaciones de tasas de aclaramiento e ingestión.

6.2 Evaluaciones

6.2.1 Crecimiento en talla

Semanalmente y durante todo el experimento se tomó una muestra de aproximadamente 5 a 15 organismos y se registró la longitud de la semilla (ancho y largo) utilizando un ocular graduado de microscopio estereoscópico previamente calibrado.

6.2.2 *Peso*

El incremento del peso vivo fue registrado semanalmente, desde el inicio y al final del período experimental. Las semillas *P. globosa* (Dall 1898) fueron colocadas en navecillas de papel aluminio de previamente pesadas y el exceso de agua fue retirado con una pipeta Pasteur. El peso se registró en una balanza analítica marca Ohaus (± 0.1 mg precisión). El peso seco se obtuvo en los mismos organismos secando en una estufa de convección a 100 por 24h. Posteriormente las muestras se calcinaron a 450 °C por 24h y se pesaron las cenizas. El peso orgánico de los organismos se obtuvo por la diferencia entre el peso seco y el peso de las cenizas.

6.2.3 *Tasas de aclaramiento (TA) e ingestión (TI)*

La evaluación de las tasas de aclaramiento (TA) e ingestión (TI) se realizaron de la siguiente manera: El agua de las unidades experimentales donde se encontraban los organismos se reemplazó en su totalidad con agua de mar filtrada (1 μm). Posteriormente se adicionó 2-3% (peso/peso) de *Isochrysis galbana* (clon T-ISO) y se esperó un lapso de 15 minutos para tomar una muestra de 20 ml y determinar la concentración inicial de microalgas (C_i). Dos horas después se realizó el segundo muestreo para determinar la concentración final (C_f). Las muestras se filtraron en tamices de 41 μm y se separaron en viales de vidrio de 20 ml de capacidad. Por cada unidad experimental se tomaron dos muestras, y la concentración de microalgas se cuantificó directamente en un contador de partículas de Multisizer III (Beckman).

La TA y TI peso-específicas se calcularon con base al número de células clareadas en cada unidad experimental después del período de alimentación (2 h) de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$TA = V/wt * nt [\ln(C_i/C_f)] \text{ (Coughlan, 1969)}$$

$$TI = [V*(C_i - C_f)]/wt \text{ (Quayle, 1948 modificada por Paffenhöffer, 1970)}$$

Donde:

TA = Tasa de aclaramiento ($\mu\text{l mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$)

TI = Tasa de ingestión ($\text{cel mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$)

V = Volumen de incubación (ml)

C_i = Concentración de alimento inicial (cel ml^{-1})

C_f = Concentración de alimento final (cel ml^{-1})

w = Biomasa total (mg)

t = Tiempo (h)

6.2.4 Coeficiente de Temperatura (Q_{10})

El coeficiente de temperatura (Q_{10}) definido como el incremento de la tasa fisiológica producida por el incremento de 10 °C, se calculó para las tasas de ingestión mediante la ecuación de Van't Hoff (Randall, 1997):

$$Q_{10} = (K_2/K_1)^{10/(t_2-t_1)}$$

Donde:

Q_{10} = Coeficiente de la temperatura

k_1 y k_2 = tasas fisiológicas a diferentes a las temperaturas

t_1 = Temperatura inicial

t_2 = Temperatura final

6.3 Análisis estadístico

Se aplicó un ANOVA de una vía con un nivel de significancia de $P = \leq 0.05$ a los datos de talla, peso vivo (PV), peso seco (PS) y el peso seco libre de cenizas (PSLC), tasas de ingestión (TI) previó análisis de la normalidad y homocedasticidad de los datos. En el caso en que los datos no cumplan los requisitos de normalidad y homocedasticidad se aplicó una prueba de ANOVA no paramétrica análisis de Prueba de Holm – Sidak para Comparación Múltiple de Medias con un nivel de significancia de $P = \leq 0.05$. Los resultados presentados para cada tratamiento son los promedios \pm error estándar. Se utilizó el software estadístico SigmaStat V3.1(2004).

7. RESULTADOS

7.1 Crecimiento en talla

El crecimiento de las semillas de *P. globosa* fue de tipo lineal en todas las temperaturas de prueba (Fig. 3). Al comparar la talla de los organismos para cada una de las semanas evaluadas se observaron diferencias significativas entre tratamientos para la segunda (ANOVA $F= 14.94$, $P= 0.001$) y tercer semanas (ANOVA $F= 7.109$, $P= 0.012$). Así, la prueba de comparación múltiple de promedios de Holm–Sidak indicó que los organismos sometidos a 20–23 °C mostraron los mayores valores de longitud (2.76–3.04 mm, segunda semana; 3.58–3.76 mm, tercera semana), mientras que los de 17 °C presentaron los más bajos (2.19–2.93 mm) para la segunda y tercer semana ($P > 0.05$). En la última semana se registraron las mayores varianzas y no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos (ANOVA, $P > 0.05$).

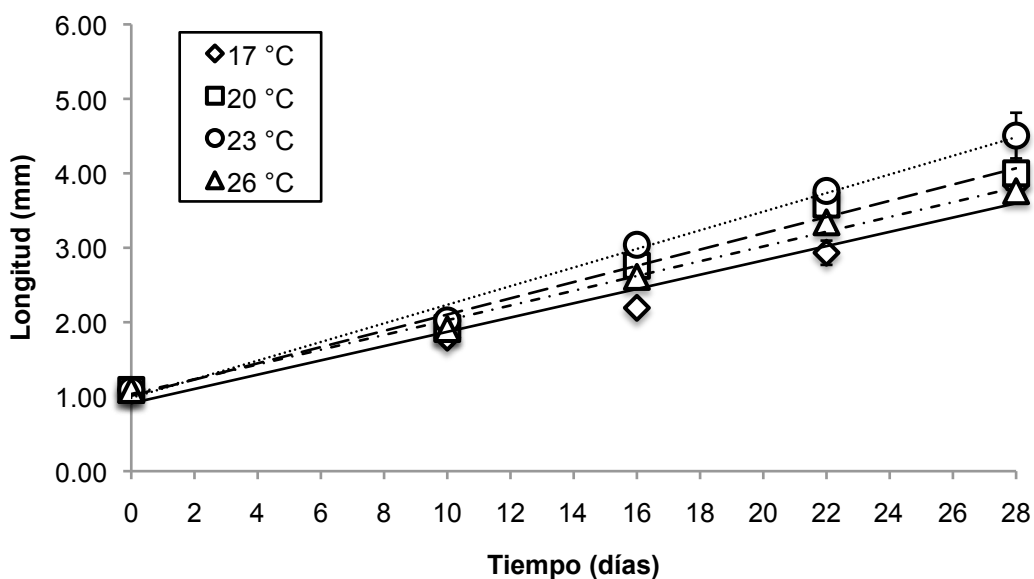


Fig. 3. Cambios temporales en la longitud de la concha de semillas de *P. globosa* expuestas a 4 temperaturas. Los datos son los promedios de las tres repeticiones para cada temperatura \pm el error estándar.

Las tallas finales registradas de *P. globosa* fueron 3.8, 4.0, 4.5, y 3.76 mm para las semillas aclimatadas a las temperaturas de 17, 20, 23 y 26 °C respectivamente (Fig. 3). Las ecuaciones de ajuste lineal para el crecimiento en concha de las semillas de *P. globosa* sometidas a las distintas temperaturas (Fig. 3) fueron las siguientes:

$$17\text{ °C: } L = 0.0959x + 0.9124; \quad R^2 = 0.96232$$

$$20\text{ °C: } L = 0.1091x + 1.0115; \quad R^2 = 0.98751$$

$$23\text{ °C: } L = 0.125x + 0.9848; \quad R^2 = 0.9919$$

$$26\text{ °C: } L = 0.0991x + 1.0365; \quad R^2 = 0.99235$$

La pendiente de la recta de ajuste representa la tasa de crecimiento bruto. Se puede observar que la máxima tasa de crecimiento ($0.125 = 125\ \mu\text{m/día}$) fue observada en las semillas mantenidas a la temperatura de 23 °C, seguida por los organismos sometidos a 20 °C ($109\ \mu\text{m/día}$). En general, la tasa de crecimiento en función de la temperatura siguió un patrón parabólico que se ajustó mediante una ecuación polinomial de segundo grado (Fig. 4), y el punto de inflexión o máxima tasa de crecimiento de las semillas se observó cerca de los 23 °C.

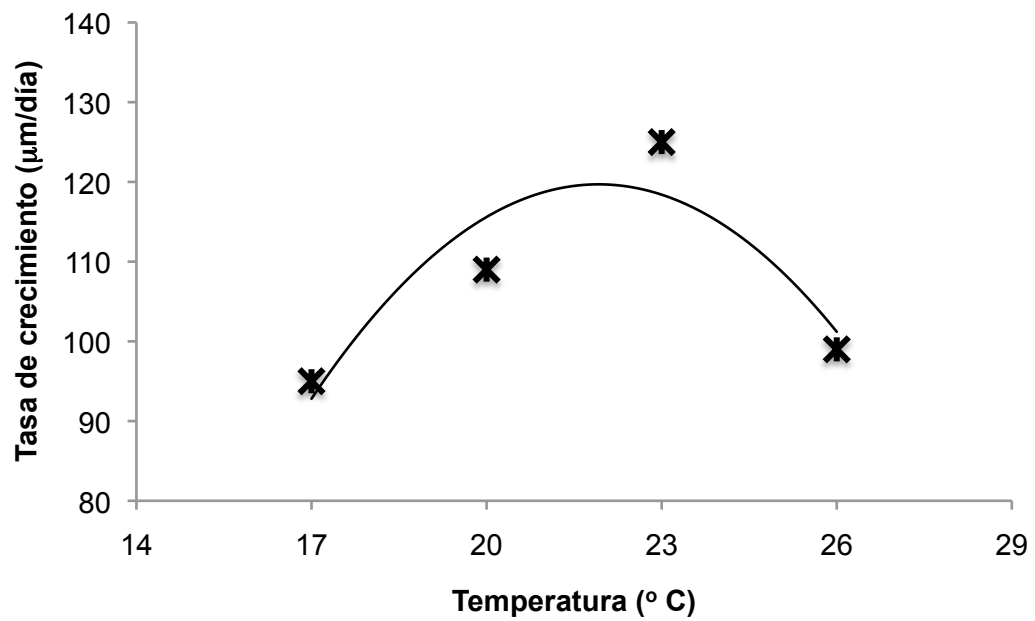


Fig. 4. Relación entre tasas de crecimiento de las semillas de almeja *Panopea globosa* y temperatura de cultivo.

La relación lineal entre la longitud (mm) y el ancho (mm) de la concha de *Panopea globosa* fue constante y se ajustó mediante la siguiente ecuación lineal (Fig. 5):

$$L = 1.526x - 0.0424; \quad R^2 = 0.9382$$

Esto indicó que la semilla de *P. globosa* fue 1.5 veces más larga que ancha, dicha relación fue estadísticamente significativa.

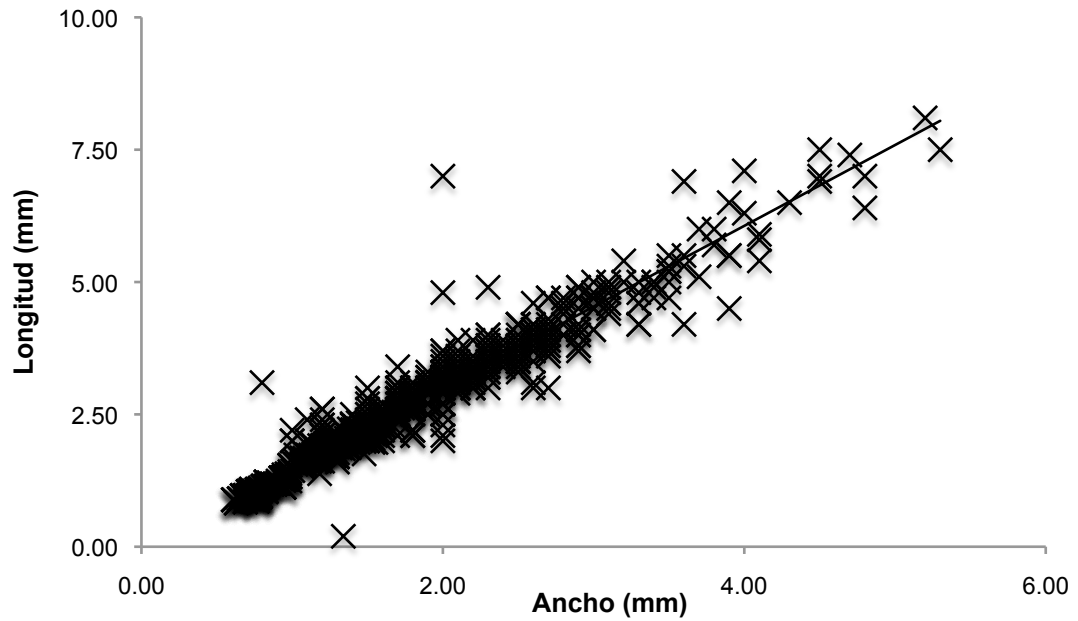


Fig. 5. Relación entre la longitud (mm) y el ancho (mm) de la concha de semillas de la almeja *Panopea globosa*.

7.2. Peso

A diferencia de la talla, el patrón de crecimiento en peso de *P. globosa* fue de tipo exponencial en todos los tratamientos (Fig. 6).

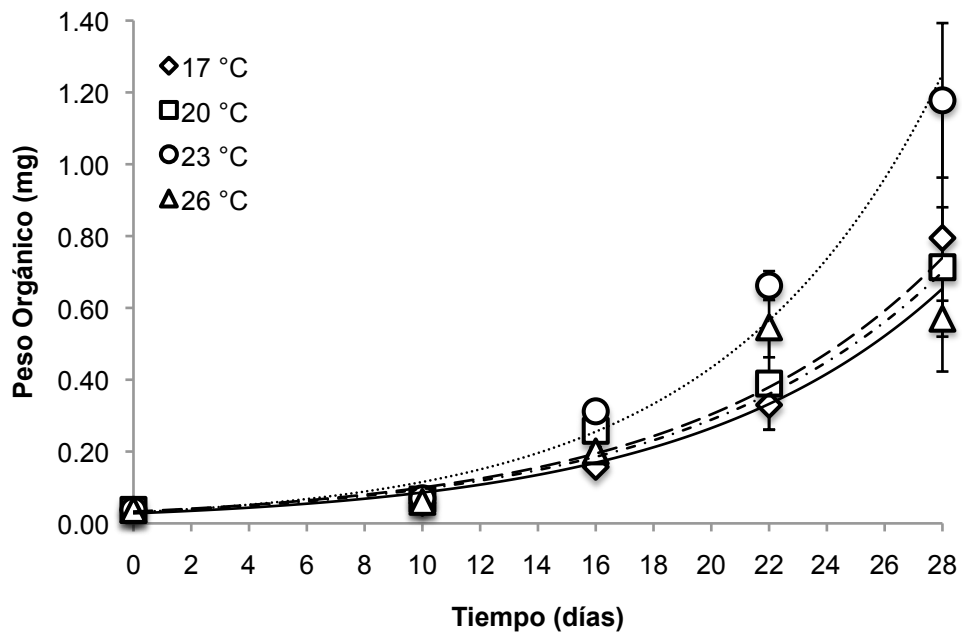


Fig. 6. Cambios temporales en el peso orgánico (peso libre de cenizas) de semillas de *P. globosa* sometidas a 4 temperatura. Los datos son los promedios de las tres repeticiones para cada temperatura \pm el error estándar.

Las semillas cultivadas a 23 °C presentaron el peso final más alto (1.18 ± 0.22 mg) y también el valor más alto del exponente de ajuste (Fig. 6, Tabla I).

Tabla I. Ecuaciones de ajuste entre el tiempo (días) y el peso orgánico (PO, mg) de semillas de *P. globosa cultivadas* a cuatro temperaturas. El coeficiente de determinación (R^2) también está indicado en cada caso.

Temperatura (°C)	Peso Orgánico (PO,mg)	Coeficiente de determinación (R^2)
17	$0.0279e^{0.1127t}$	0.95155
20	$0.0328e^{0.1113t}$	0.95635
23	$0.0307e^{0.1324t}$	0.95812
26	$0.0315e^{0.1107t}$	0.92493

Comparando semanalmente el efecto de la temperatura se observó que no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos durante la primera (ANOVA $F= 0.298$, $P= 0.826$), tercera (ANOVA $F= 3.049$, $P= 0.092$) y tercer semana (ANOVA $F= 1.252$, $P= 0.354$). Solamente en la segunda semana se observaron diferencias significativas (ANOVA $F= 7.898$, $P= 0.009$), siendo los organismos mantenidos en 17 °C quienes presentaron los pesos significativamente más bajos (0.16 mg). Los valores más altos fueron para las semillas aclimatadas a 20, 23 y 26 °C (0.20 – 0.31 mg) (Prueba de Holm – Sidak para Comparación Múltiple de Medias $P > 0.05$).

La relación longitud de la concha-peso orgánico siguió un patrón alométrico de tipo potencial, con un valor del exponente de 2.42 (Fig. 7).

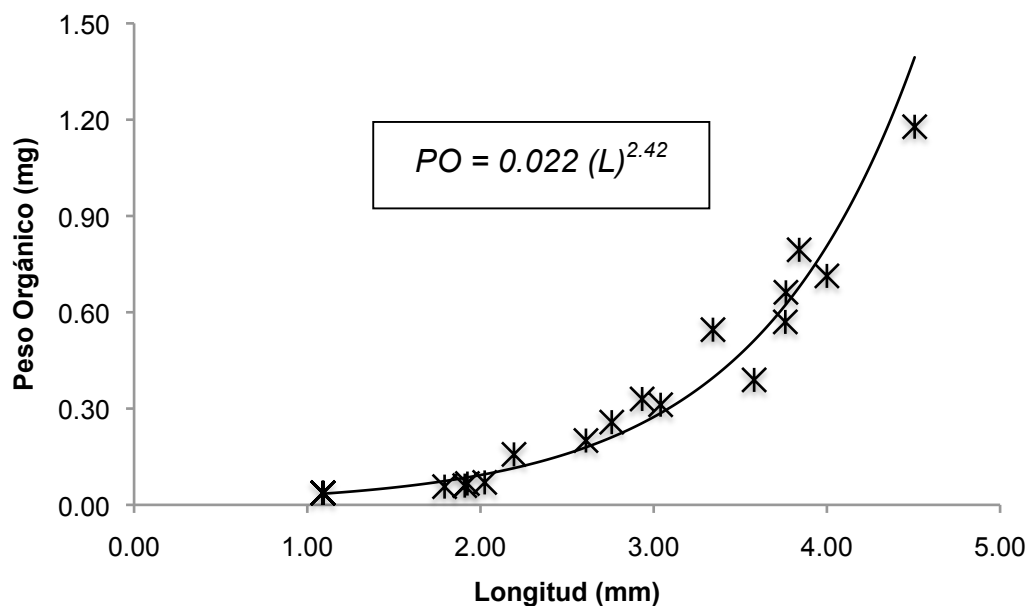


Fig. 7. Relación longitud-peso orgánico exhibido por las semillas de la almeja *Panopea globosa* sometidas a temperaturas entre 17 y 26 °C.

7.3. Tasas de aclaramiento (TA) e ingestión (TI)

La Fig. 8 muestra el comportamiento de las tasas de aclaramiento peso-específicas. Durante la primer semana se observó un efecto significativo de la temperatura sobre las tasas de aclaramiento (TA) peso-específicas (ANOVA $F = 4.25$, $P = 0.045$). Las TA más altas la presentaron las semillas mantenidas a 17, 23 y 26 °C ($17.7 - 39.92 \text{ ml mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$), mientras que los valores más bajos se registraron en los organismos de 20 °C ($8.63 \text{ ml mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) (prueba de Holm – Sidak para comparación múltiple de medias $P > 0.05$). A partir de la segunda semana las semillas mostraron una tendencia a aumentar (17, 20 y 23 °C) o disminuir (26 °C) la (TA) en forma irregular. No obstante, dichas tendencias no fueron estadísticamente significativas ($P > 0.05$).

Las tasas de ingestión peso-específica (TI) mostraron el mismo patrón que las TA, con subidas en (17, 20 y 23 °C) y bajadas a (26 °C) a lo

largo del tiempo (Fig. 6b). Sin embargo, no se observaron diferencias significativas en ninguna de las tres semanas de prueba ($P > 0.05$) por lo que se promediaron los valores observados semanalmente (Tabla II).

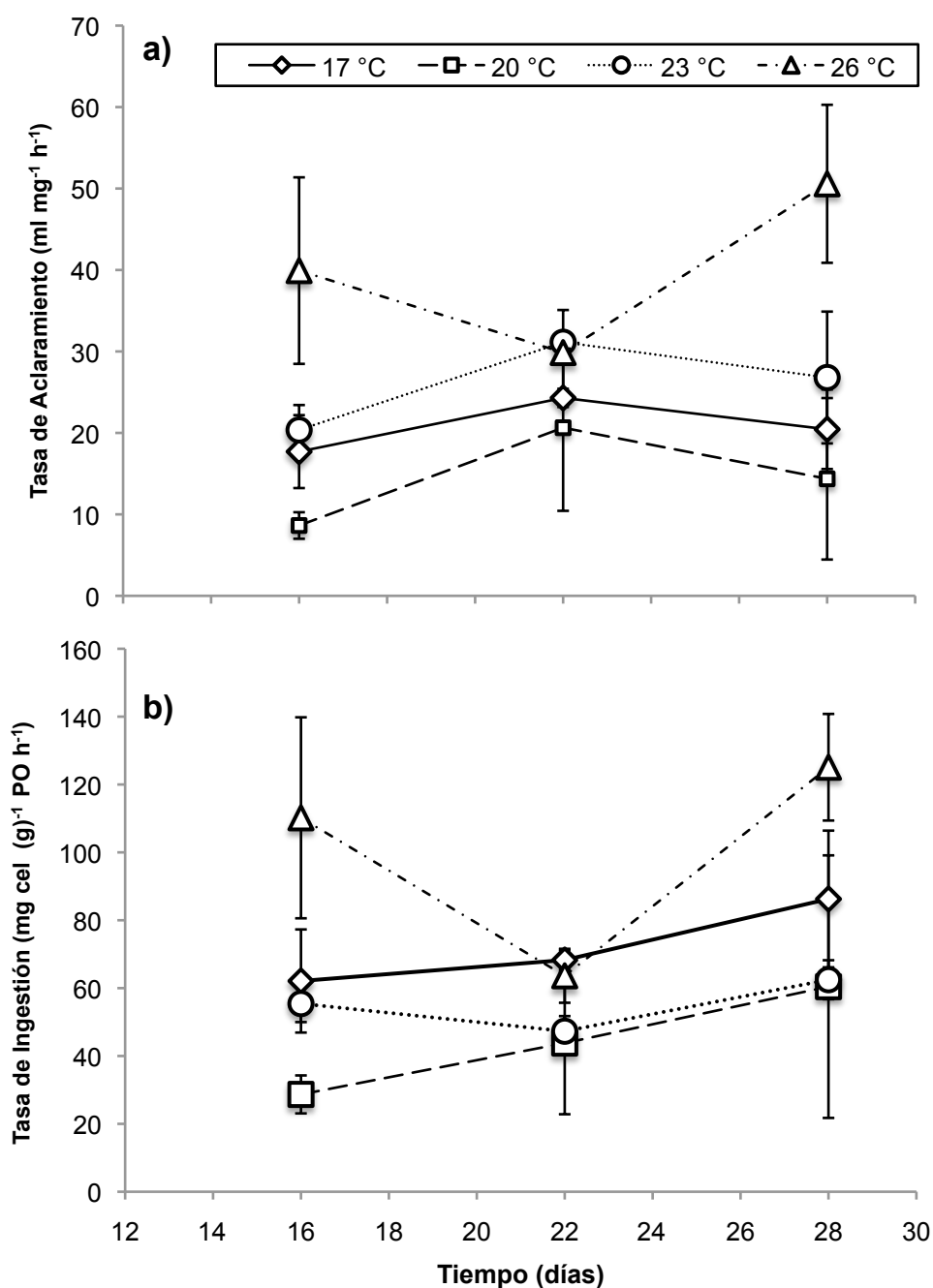


Fig. 8. Tasas de aclaramiento (a) y tasas de Ingestión peso – específicas (b) exhibidas por semillas de la almeja *Panopea globosa* cultivadas a diferentes temperaturas. Los datos son los promedios de las tres replicas para cada temperatura \pm el error estándar.

Un resumen de las tasas fisiológicas exhibidas por *P. globosa* en las cuatro temperaturas experimentales a lo largo de las tres semanas de evaluación se muestran en la Tabla II.

Tabla II. Resumen de tasas peso-específicas de aclaramiento (TA), ingestión (TI) y ración de alimento demandado (RAD) por las semillas de la almeja *Panopea globosa* sometidas a distintas temperaturas. La RAD está expresada como porcentaje del peso vivo (PV), del peso seco (PS) y del peso orgánico (PO). Los datos son los promedios de tres replicas para cada temperatura \pm el error estándar.

Temperatura °C	TA	TI	RAD		
	ml mg ⁻¹ h ⁻¹	Mg g ⁻¹ h ⁻¹	% PV d ⁻¹	% PS d ⁻¹	% PO d ⁻¹
17	20.8 \pm 3.5	72.2 \pm 12.7	8	53	173
20	14.5 \pm 7.2	44.3 \pm 21.8	4	33	106
23	26.1 \pm 4.1	55.1 \pm 5.2	9	44	132
26	40.1 \pm 8.8	99.6 \pm 19	12	73	239

La Tabla II muestra que las mayores tasas de ingestión fueron observadas en los tratamientos de 26 °C y 17 °C (99.6 y 72.2 mg g⁻¹ h⁻¹ respectivamente) y las más bajas se registraron a las temperaturas intermedias (Tabla 2). También las TA fueron mayores a 26 °C, pero estas tasas en el resto de los tratamientos no mostraron diferencias significativas entre sí, manteniendo sus TA entre 14.5 y 26.1 (Tabla 2). La ración de alimento demanda por las semillas, estimada como porcentaje del peso del organismo, presentó un comportamiento similar al de las TI, con menor demanda de alimento a los 20 °C (4% del peso vivo d⁻¹) y mayor a los 26 °C (12% del peso vivo). Cuando la ración se expresó como porcentaje del peso seco o peso orgánico, los valores aumentaron entre 5 y 20 veces, respectivamente (Tabla II).

7.4. Coeficiente de temperatura

El cálculo de Q_{10} basado en las tasas de ingestión peso-específicas, y estimado para intervalos de temperatura de 3 °C se muestran en la Tabla 3. Se puede observar que en el intervalo de 17 - 20 °C las semillas de *P. globosa* exhibieron un $Q_{10} = 0.2$, lo que significa que sobrecompensaron. En contraste, el valor de $Q_{10} = 7.2$ calculado para las temperaturas de 23 - 26° C fue indicativo de subcompensación, mientras que en el intervalo de 20 a 23 °C compensaron de manera eficiente (Tabla III).

Tabla III. Coeficiente de temperatura (Q_{10}) calculados a partir de las tasas de ingestión exhibidas por las semillas de la almeja *Panopea globosa* cultivadas a distintas temperaturas.

Intervalo de temperatura	Q_{10}
17 - 20 °C	0.2
20 - 23 °C	2.1
23 - 26 °C	7.2

8. DISCUSIÓN

8.1. Crecimiento

En este trabajo se pudo observar que los organismos mantenidos a 20 y 23 °C presentaron los valores más altos de longitud de la concha y de tasas de crecimiento, mientras que los aclimatados a 17 °C exhibieron los valores más bajos. Esto indicó que el óptimo de temperatura para juveniles de *P. globosa* se encuentra cercano a los 23 °C. En contraste Buitimea–Alvarez (2011), reportó que las larvas de esta misma especie presentaron un óptimo de temperatura a los 26 °C, lo que sugiere que el preferendo térmico de *P. globosa* disminuye conforme aumenta la edad. Este mismo patrón se ha documentado en otras especies de moluscos bivalvos, incluyendo *Mercenaria mercenaria* (Bayne, 1983; Laing et al., 1987) y *Ostrea edulis* (Newell et al.; 1977, Bayne, 1983). También se ha reportado que el la temperatura preferida disminuye conforme aumenta la edad, particularmente en el caso de *Panopea generosa*, la cual es una especie de hábitats templados – fríos (Goodwin y Pease, 1989; Buitimea–Alvarez, 2011).

Esta es la primera vez que se reportan tasas de crecimiento para juveniles de cualquier especie de *Panopea* bajo condiciones controladas en laboratorio. Es probable que las tasas de crecimiento registradas en el presente estudio para juveniles de *P. globosa* estén subestimando el crecimiento potencial de esta especie, debido a que los organismos se cultivaron en condiciones libres de sedimento. Así, la mayor tasa de crecimiento obtenida en el presente estudio para juveniles de cultivados sin

sedimento (125 $\mu\text{m}/\text{día}$, en 23 ° C) es comparativamente menor que las 157 $\mu\text{m}/\text{día}$ reportadas en organismos que crecieron enterrados en sedimento a temperatura de 22° C bajo condiciones de laboratorio (García–Esquivel y Tapia–Morales, 2012). Previamente se ha reportado que organismos infaunales tales como *Mya arenaria* (Newell, 1982), *Pyganodom grandis* (Gatenby et al, 1996), *Villosa iris* (Gatenby et al., 1996; Jones et al., 2005) y *Epioblasma capsaeformis* (Jones et al., 2005) crecen mejor enterrados en el sedimento que aquellos cultivados libres de sustrato.

Es posible especular acerca del patrón de crecimiento de *P. globosa* en el campo si consideramos dos datos críticos que se han obtenido por nuestro grupo de trabajo en el Laboratorio de Biotecnología de Moluscos de la UABC: a) La talla de la larva metamorfozada de *P. globosa* que es de 400 μm (Ferreira-Arrieta, 2012), b) las tasas de crecimiento para juveniles en función de la temperatura (este trabajo). Los registros de temperatura reportados para San Felipe, Baja California, México (Fig. 9) se pueden ajustar mediante la siguiente ecuación polinomial de segundo grado:

$$T^{\circ} = -0.0003t^2 + 0.1599t + 8.7522; \quad R^2 = 0.87353$$

Asimismo, las tasas de crecimiento bruto de los juveniles de *P. globosa* en función de la temperatura (este trabajo, Fig. 2) se ajustaron mediante otra función polinomial de segundo grado de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$TC = -1.1111T^{02} + 48.711 T^{\circ} - 414.18$$

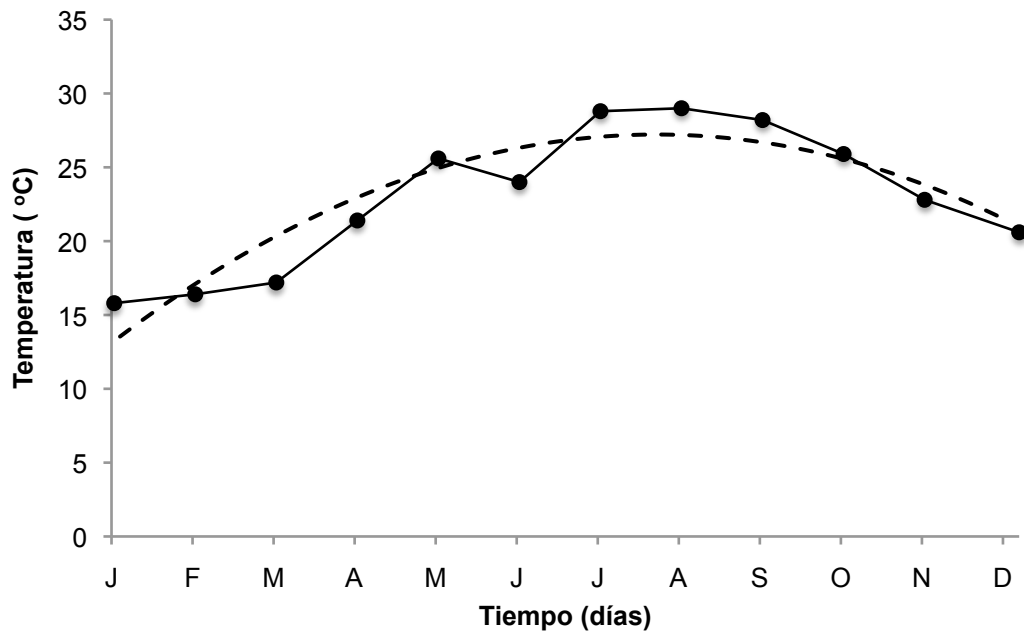


Fig. 9. Datos de mensuales de la temperatura superficial del mar para el área de San Felipe. La línea continua representa las temperaturas reportadas por Calderón-Aguilera (2010) con excepción de Nov-Dic que se promediaron con las reportadas por Sánchez León–Hing (2012) La línea discontinua representa la temperatura predicha mediante el ajuste polinomial de segundo grado.

Combinando ambas ecuaciones fue posible generar las tasas de crecimiento teóricas de *P. globosa* en el campo a lo largo del año, así como la talla acumulada a partir su asentamiento la cual ocurre típicamente en enero (Fig 10). Con base en lo anterior, se observó que las máximas tasas de crecimiento esperadas en el campo ocurrirían en los meses de Marzo–Mayo y Nov–Dic, mientras que en Julio–Septiembre se presentarían los valores más bajos de crecimiento en el campo (Fig 10). Entonces, para el primer año de vida las semilla de *P. globosa* tendría una talla predicha de 27 mm.

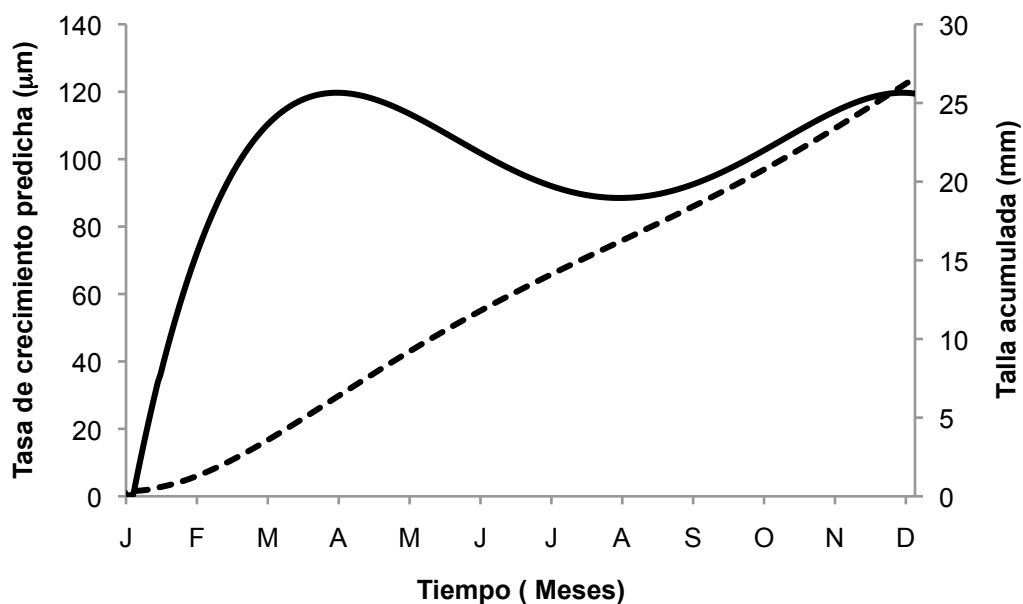


Fig. 10. Tasas de crecimiento mensuales en función de la temperatura (Línea continua), así como la talla acumulada (línea discontinua) predicha para San Felipe mediante un ajuste polinomial de segundo grado.

Esta talla representa solo la mitad del tamaño observado en la misma especie cultivada en San Felipe, Baja California, México (Com. Pers. García-Esquivel, Z.¹). Esto no es sorprendente debido a que se sabe que los juveniles de cualquier especie de moluscos bivalvos crecen más rápido en el medio natural que en el laboratorio. (Newell, 1982; Goodwin y Pease, 1989) debido a que en el laboratorio no es posible recrear las condiciones óptimas de sedimento, velocidad de la corriente, profundidad, alimento, y otros, que experimentan las almejas en el campo.

8.2. Tasas fisiológicas

Las TI evaluadas para las semillas de *P. globosa* indicaron que la ración diaria de alimento requerida por esta especie varió entre 3 – 12 % PV

¹ Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México

por día dependiendo de la temperatura. Considerando que la temperatura óptima de crecimiento fue de 20 – 23 °C, entonces para este intervalo las raciones demandadas correspondieron a 3.5 – 8.6% PV por día. Esto es comparable con las raciones del 2 al 6% para la mayoría de los moluscos bivalvos (Helm et al., 2006) incluyendo *Modiolus modiolus* (Winter, 1978) *Artica islandica* (Winter, 1978), *Venerupis pullastra* (Beiras et al., 1993; Albentosa et al., 1994), *Ruditapes decussatus* (Albentosa et al., 1996a; Albentosa et al., 1996b y Albentosa et al., 1997) y *Ruditape philippinarum* (Nam–Ham et al., 2008).

Los resultados de las tasas fisiológicas (TA y TI) sugieren que las semillas de *P. globosa* cultivadas compensaron parcialmente en el intervalo de temperatura experimental probadas en este estudio. Específicamente se observó una compensación completa en el intervalo de temperatura de 17 – 23 °C, lo cual se comprobó cuando los organismos mantuvieron sus tasas fisiológicas. Por el contrario las semillas mantenidas a la temperatura más alta (26 °C) fueron incapaces de compensar y tuvieron que aumentar sus tasas fisiológicas lo cual es indicativo de que conformaron a la temperatura más alta. La compensación térmica parcial ya ha sido descrita en otros moluscos bivalvos. Por ejemplo, se ha reportado que *Crassostrea virginica* (Loosanoff, 1958), *Argopecten irradians* (Kirby-Smith, 1970) y *Mytilus edulis* (Smaal et al., 1997) mantuvieron constantes sus TA a pesar de las variaciones térmicas hasta llegar a un óptimo de temperatura en donde las tasas se mantuvieron constantes, lo que sugiere que logran compensar parcialmente ante los cambios de temperatura. Por el contrario, *Ostrea*

edulis (Haure et al., 1998), *Brachidontes pharaonis* (Sarà et al., 2008) y *Cerastoderma edule* (Smaal et al., 1997) y *Ruditapes decussatus* (Sobral et al., 1997) se comportan como organismos conformadores al haber un aumento de la temperatura.

8.3. Coeficiente de temperatura

Las semillas de *P. globosa* cultivadas en el intervalo de temperatura de 20 – 23 °C presentaron un valor de $Q_{10} = 2.1$ que se encuentra dentro de los intervalos típicos biológicos (2–3) reportado para organismos termoconformadores. Por otra parte las temperaturas extremas produjeron los valores de Q_{10} más bajos 0.2 a (17 °C) y más altos 7.2 a (26 °C). En el primer caso fue evidente que los organismos sobrecompensaron y en el segundo subcompensaron. Por lo tanto es probable que dichas temperaturas estén cercanas a los límites de tolerancia térmica para este estadio de desarrollo de *P. globosa*. Esto coincide con los valores altos de tasas fisiológicas (TA y TI) medidas de forma directa a esas temperaturas.

Si consideramos que a las temperaturas de 20 – 23 °C se obtuvieron los datos más altos de crecimiento, bajas tasas fisiológicas y valores típicos de Q_{10} , entonces es posible sugerir que este intervalo de temperatura fue el óptimo para el crecimiento de las semillas de *P. globosa*. En otras palabras los organismos sometidos a 20 – 23 °C presentaron un balance de energía neto positivo, lo cual está reflejado en el crecimiento.

Los valores de Q_{10} típicos biológicos (2 – 3) son comparables con los reportados para otras especies de moluscos bivalvos tales como los que se reportan en la Tabla IV.

Tabla IV. Temperaturas óptimas de cultivo (TO) y valores de Q_{10} , reportados para diversas especies de moluscos bivalvos (TP = Intervalo de temperatura en el que se calculo el Q_{10})

Especie	TO °C	TP °C	Q_{10}	Referencia
<i>Donax vittatus</i>		10-20	2.08	Ansell et al., 1973
<i>Mytilus edulis</i>	12-16	4-14	2.15	Winter, 1978; Malouf, 1989
<i>Ostrea edulis</i>		14-26	2.99	Beiras et al., 1995
<i>T. semidecussata</i>	20-25	20-25	2.3	Laing et al, 1987
<i>Venerupis pullastra</i>	20	15-20	3.5	Albentosa et al, 1994
<i>Artica islandica</i>		4-14	2.05	Winter, 1978; Malouf, 1989
<i>Ruditapes philiphilinarum</i>	20	15-25	2.27	Nam-Ham et al., 2008

9. CONCLUSIONES

1. Las tasas de crecimiento de *P. globosa* en función de la temperatura exhibieron un patrón tipo parábola, con un punto de inflexión o máxima tasa de crecimiento alrededor de la temperatura de 23 °C.
2. Los juveniles de *P. globosa* sobrecompensaron y subcompensaron sus tasas de ingestión a temperaturas cercanas a 17 °C y 26 °C respectivamente
3. La combinación de tasas de crecimiento, tasas de ingestión y Q_{10} indicaron que la temperatura óptima para el crecimiento de *P. globosa* se encuentra alrededor de los 22 °C.

10. REFERENCIAS

- Albentosa, M., Beiras, R., Pérez-Camacho, A., 1994. Determination of optimal thermal conditions for growth of clam (*Venerupis pullastra*) seed. *Aquaculture*. 126, 315–328.
- Albentosa, M., Pérez-Camacho, A., Beiras, R., 1996a. The effect of food concentration on the scope for growth and growth performance of *Ruditapes decussates* (L.) seed reared in an open-flow system. *Aquac. Nutr.* 2, 213–220.
- Albentosa, M., Pérez-Camacho, A., Labarta, U., Fernández-Reiriz, M.J., 1996b. Evaluation of live microalgal diets for the seed culture of *Ruditapes decussatus* using physiological and biochemical parameters. *Aquaculture*. 148, 11–23.
- Albentosa, M., Fernández-Reiriz, M.J., Pérez-Camacho, A., Labarta, U., 1999. Effect of microalgal diets and commercial wheatgerm flours on the lipid profile of *Ruditapes decussatus* spat. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 232, 23–37.
- Ansell, A.D., y Sivadas, P., 1973. Some effects of temperature and starvation on the bivalve *Donax vittatus* (da Costa) in experimental laboratory populations. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 13, 229–262.
- Aragón-Noriega, E.A., Chávez-Villalba, J., Gribben, P.E., Alcántara-Razo, E., Maeda-Martínez, A.N., Arambula-Pujol, E.M., García-Juárez, A.R., Maldonado-Ámparo, R., 2007. Morphometric relationships, gametogenic development and spawning of the geoduck clam *Panopea globosa* (Bivalvia: Hiatellidae) in the Central Gulf of California. *J. Shellfish Res.* 26, 423–431.
- Aragón-Noriega, E.A., Alcántara-Razo, E., Calderón-Aguilera, L.E., Sánchez-Fourcade, S., 2012. Status of geoduck clam fisheries in Mexico. *J. Shellfish Res.* 31(3), 733–738.
- Arambula-Pujol, E.M., Aragón-Noriega, E.A., Maeda-Martínez, A.N., Maldonado-Ámparo, R., 2008. Aspectos de biología reproductiva de la almeja de sifón *Panopea globosa* (Dall 1898) en el Golfo de California. *Hidrobiológica*. 18(2), 89–98.
- Bayne, B.L., 1976. *Marine mussels: their ecology and physiology*. Cambridge University Press., U.K.

- Bayne, B.L., 1983. Physiological Ecology of Marine Molluscan Larvae, *in*: Verdonk, N.H., Van den Biggelaar, J.A.M., Tompa, A.S. (Eds.), *The Mollusca*. Vol. 3. Development. Academic Press., New York, pp. 299–343.
- Beiras, R., Pérez-Camacho, A., Albentosa, M., 1993. Influence of food concentration on energy balance and growth performance of *Venerupis pullastra* seed reared in a open flow system. *Aquaculture*. 116(4), 353–365.
- Breen, P.A., Gabriel, C., Tyson, T., 1991. Preliminary estimates of age, mortality, growth, and reproduction in the hiatellid clam *Panopea zelandica* in New Zealand. *New Zeal. J. Mar. Fresh.* 25, 231–237.
- Bougrier, S., Geairon, P., Deslous-Paoli, J.M., Bather, C., Jonquikres, G., 1995. Allometric relationships and effects of temperature on clearance and oxygen consumption rates of *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Aquaculture*. 134, 143–154.
- Buitimea-Alvarez, M.I., 2011. Efecto de la salinidad y temperatura sobre el desarrollo larval de *Panopea spp.* Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California. pp. 42.
- Buxton, C.D., Newell, R.C., Field, J.G., 1981. Response-surface analysis of the combined effects of exposure and acclimation temperatures on filtration, oxygen consumption and scope for growth in the oyster *Ostrea edulis*. *Mar. Ecol-Prog Ser.* 6, 73–82.
- Calderón-Aguilera, L.E., Aragón-Noriega, E.A., Reyes-Bonilla, H., Paniagua-Chávez, C.G., Romo-Curiel, A.E., Moreno-Rivera, V.M., 2010. Reproduction of the Cortes geoduck *Panopea globosa* (Bivalvia: Hiatellidae) and its relationship with temperature and ocean productivity. *J. Shellfish Res.* 29, 135–141.
- Cortez-Lucero, G., Arreola-Lizárraga, J.A., Chávez-Villalba, J., Aragón-Noriega, E.A., 2011. Edad, crecimiento y mortalidad de la almeja de sifón, *Panopea globosa* (Bivalvia: Hiatellidae) en la región central del Golfo de California, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 46(3), 453-462.
- Coughlan, J., 1969. The estimation of filtering rate from the clearance of suspensions. *Mar. Biol.* 2, 356–358.
- Crisp, D.J., Ritz, D.A., 1967. Temperature acclimation in barnacles. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 1, 236–256.
- Cruz-Vásquez, R., Rodríguez-Domínguez, G., Alcántara-Razo, E., Aragón-Noriega, E.A., 2012. Estimation of Individual Growth Parameters of

- the Cortes Geoduck *Panopea globosa* from the Central Gulf of California using a Multimodel Approach. *J. Shellfish Res.* 31(3), 725-732.
- Ferreira-Arrieta, A., 2012. Crecimiento y tasas de alimentación de la almeja de sifón, *Panopea globosa* durante el desarrollo larval. Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California. pp. 33.
- García-Esquivel, Z., Tapia-Morales, S., 2012. Growth and borrowing rates of early geoduck clam spat (*Panopea* spp.) under laboratory conditions. *J. Shellfish Res.* 31(1), 287.
- Gatenby, M.C., Neves, J.R., Parker, C.B., 1996. Influence of Sediment and Algal Food on Cultured Juvenile Freshwater Mussels. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 15(4), 597–609.
- González-Estrada, F., 2003. Temperaturas letales y temperatura óptima para crecimiento de una población de almeja mano de león *Nodipecten subnodosus* (Sowerby, 1835). Tesis de maestría. Centro de Investigación Biológicas del Noroeste S. C. La Paz B. C. S., 90 pp
- Goodwin, C.L., Pease, B., 1989. Species profiles: life histories and environmental requirements of coastal fishes and invertebrates (Pacific Northwest) Pacific geoduck clam. U.S. Fish. Wildl. Serv. Biol. Rep. 82(11.120). U.S. Army Corps of Engineers, TR EL82 – 4. pp. 14.
- Grant, J., 1996. The relationship of bioenergetics and the environment to the field growth of cultured bivalves. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 200, 239–256.
- Grizzle, R.E., Bricelj, V.M., Shumway, S.E., 2001. Physiological ecology of *Mercenaria mercenaria*, in; Kraeuter, J.N., Castagna, M., (Eds.), *Biology of the hard clam*. Elsevier Science, Amsterdam, Netherlands, pp. 305–382.
- Haure, J., Penisson, C., Bougrier, S., Baud, J.P., 1998. Influence of temperature on clearance and oxygen consumption rates of the flat oyster *Ostrea edulis*: determination of allometric coefficients. *Aquaculture.* 169, 211–224.
- Helm, M.M., Bourne, N., Lovatelli, A. (comp./Eds.), 2006. Cultivo de bivalvos en criadero. Un manual práctico. *FAO Documento Técnico de Pesca*. No. 471. Roma, FAO. pp. 184.
- Hibber, C.J., 1977. Energy relations of the bivalve *Mercenaria mercenaria* on an intertidal mudflat. *Mar. Biol.* 44, 77–84.
- Hoar, W.S., 1978. Temperatura, in: Hoar, W.S. (Ed.), *Fisiología general y*

comparada, Omega, Barcelona, pp. 343–376.

Jobling, M., 1994. Respiration and metabolism, in: Jobling, M. (Ed.), Fish Bioenergetics, Chapman & Hall, London, pp.121-142.

Jones, W.J., Mair, A.R., Neves, J.R., 2005. Factors affecting survival and growth of juvenile freshwater mussels cultured in recirculating aquaculture systems. *N. Am. J. Aquacult.* 67, 210–220.

Kirby–Smith, W.W., 1970. Growth of the scallops, *Argopecten irradians concentricus* (Say) and *Argopecten gibbus* (Linne), as influenced by food and temperatures. Ph.D. Thesis, Duke University, Durham, North Carolina, pp. 126.

Kresten–Nielsen, J., Helama, S., Schone, B., 2008. Shell growth history of geoduck clam (*Panopea abrupta*) in Parry Passage, British Columbia, Canada: Temporal variation in annuli and the Pacific decadal oscillation. *J. Oceanogr.* 64, 951–960.

Laing, I., Utting, S.D., Kilada, R.W.S., 1987. Interactive effect of diet and temperature on the growth of juvenile clams. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 113, 23–38.

Lewis, D.E., Cerrato, R.M., 1997. Growth uncoupling and the relationship between shell growth and metabolism in the softshell clam *Mya arenaria*. *Mar. Ecol-Prog. Ser.* 158, 177–189.

Leyva–Valencia, I., Maeda–Martínez, A.N., Sicart, M.T., Roldan, L., Robles–Mungaray, M., 2001. Halotolerance, upper thermotolerance, and optimum temperature for growth of the penshell *Atrina maura* (Sowerby, 1835) (Bivalvia: Pinnidae). *J. Shellfish Res.* 20(1), 49–54.

Lodeiros, C., Maeda–Martínez, A.N., Freitas, L., Uribe E., Lluch-Cota, D.B., Sicard, M.T., 2002. Ecofisiología de pectínidos iberoamericanos in: Maeda–Martínez, A.N. (Ed.), Los Moluscos pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura., McGraw-Hill., México, pp. 77-88.

Lovatelli, A., Farías, A., Uriarte, I., 2007. Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina. Taller Técnico Regional de la FAO. 20–24 de agosto del 2007, Puerto Montt, Chile. FAO Actas de Pesca y Acuicultura. No. 12. Roma, FAO. pp. 359

Loosanoff, V.L., 1958. Some aspects of behavior of oysters at different temperature. *Biol. Bull.* 114, 57–70

Lluch-Cota, S.E., Aragón-Noriega, E.A., Arreguín-Sánchez, F., Auriolles-Gamboa, D., Bautista-Romero, J.J., Brusca, R.C., Cervantes-Duarte,

- R., Cortés-Altamirano, R., Del Monte-Luna, P., Esquivel-Herrera, A., Fernández, G., Hendrickx, M.E., Hernández-Vázquez, S., Herrera-Cervantes, H., Kahru, M., Lavín, M., Lluch-Belda, D., Lluch-Cota D.B., López-Martínez, J., Marinone, S.G., Nevárez-Martínez, M.O., Ortega-García, S., Palacios-Castro, E., Parés-Sierra, A., Ponce-Díaz, G., Ramírez-Rodríguez, M., Salinas-Zavala, C.A., Schwartzlose R.A., Sierra-Beltrán, P.A., 2007. The Gulf of California: Review of ecosystem status and sustainability challenges. *Prog. Oceanogr.* 73,1–26.
- Lucas, A., Beninger P.G., 1985. The use of physiological condition indices in marine bivalve aquaculture. *Aquaculture.* 44, 187–200.
- MacDonald, B.A., Thompson, R.J., 1986. Influence of temperature and food availability on the ecological energetics of the giant scallop *Placopecten magellanicus*. III. Physiological ecology, the gametogenic cycle and scope for growth. *Mar. Biol.* 93, 37–48.
- Malouf, R.E., Bricelj, M., 1989. COmparativ biology of clams: environmental tolerances, feeding, and growth, in: Manzi, J.J., Castagna, M. (Eds.), *Developments in aquaculture and fisheries science 19. Clam mariculture in North America*, Elsevier Science Publishers Company Inc., New York, pp. 23–73.
- Mártir-Mendoza, A., 2006. La Acuicultura como estrategia de desarrollo de zonas costeras rurales en México. *Revista de Sociedad, Cultura y desarrollo Sustentable.* 2(3),769–793.
- Morrison, G., Jackim, E., Bonatti, K., 1977. Use of an inert radioactive particle for measuring particle accumulation by filter-feeding bivalve molluscs. *Mar. Biol.* 40, 51–55.
- Morsán, E., Ciocco, N.F., 2004. Age and growth model for the southern geoduck, *Panopea abbreviata*, off Puerto Lobos (Patagonia, Argentina) *Fis. Res.* 69, 343–348.
- Nam-Ham, K., Woo, L.S., Young, W.S., 2008. The effect of temperature on the energy budget of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum*. *Aquacult. Int.* 16(2), 143-152.
- Navarro J.M., 2002. Fisiología energética de pectínidos iberoamericanos, in: Maeda-Martínez, A.N. (Ed.), *Los Moluscos Pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura*, McGraw-Hill., México, pp. 61–76.
- Newell, R.C., Johson, L.G., Kofoed, L.H., 1977. Adjustment of the components of energy balance in response to temperature change in *Ostrea edulis*. *Oecologia* 30, 97–110.

- Newell, R.C., 1982. The effects of sediment type on growth and shell Allometry in the soft shelled clam *Mya Arenaria*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 65,285-95.
- Omori, M., Ikeda, T. (Eds), 1992. Feeding, in: Methods in marine zooplankton ecology, Krieger Publishing Company, Malabar, USA, pp 134–172.
- Paffenhöfer, G.A., 1971. Grazing and ingestion rates of nauplii, copepodids and adults of the marine planktonic copepod *Calanus helgolandicus*. Mar. Biol. 11, 286–298.
- Precht, H., 1958. Concepts of the temperature adaptation of unchanging reaction Systems of cold-blooded animals. In Prosser (1958) 50-78
- Prosser, C.L., Heath J.E., 1958. Temperature, in: Prosser, C.L. (Eds.), Environmental and metabolic animal physiology adaptation (Comparative animal physiology, fourth edition), A John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 109-165.
- Randall, D., Burggren, W., French, K. (Eds.), 1998. Using Energy: Meeting environment challenges, in: Eckert animal physiology: mechanisms and adaptations, W. H. Freeman and Company, New York, pp. 665–723.
- Rocha-Olivares, A., Calderón-Aguilera, L.E., Aragón-Noriega, E.A., Saavedra-Sotelo, N.C., Moreno-Rivera, V.M., 2010. Genetic and morphological variation of Northeast Pacific *Panopea* clams: Evolutionary Implications. J. Shellfish Res. 29(2), 327–335.
- Rodhouse, P.G., 1978. Energy transformations by the oyster *Ostrea edulis* L. in a temperature estuary. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 34,1–22.
- Sará, G., Romano, C., Widdows, J., Staff, F.J., 2008. Effect of salinity and temperature on feeding physiology and scope for growth of an invasive species (*Brachidontes pharaonis* - MOLLUSCA: BIVALVIA) within the Mediterranean sea. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 363, 130–136.
- Saben, K.P., 1982. The limits to indeterminate growth: an optimal size model applied to passive suspension feeders. Ecology 63, 209–222.
- Sánchez León–Hing, S.J., 2012. Cambios histológicos y bioquímicos asociados al ciclo de maduración de la almeja de sifón, *Panopea globosa* en San Felipe, B. C. México. Programa de estudios de Posgrado. Universidad Autónoma de Baja California. Maestría en Ciencias en Oceanografía Costera. Ensenada B.C.
- Schmidt – Nielsen K, 1998. Animal physiology: Adaptation and Environment. 5a ed. Cambridge University Press.

- Sicard, M.T., Maeda-Martínez, A.N., Ormart, P., Reynoso-Granados, T., Carvalho, L., 1999. Optimum temperature for growth in the catarina scallop (*Argopecten ventricosus circularis*, Sowerby II, 1842). *J. Shellfish Res.* 18,385–392.
- Smaal, A.C., Vanck, A.P.M.A., Bakker, M., 1997. Seasonal variation in physiological energetics of *Mytilus edulis* and *Cerastoderma edule* of different size classes. *J Mar. Biol. Assoc. UK.* 77(3), 817–838.
- Sobral, P., Widdows, J., 1997. Effects of elevated temperatures on the scope for growth and resistance to air exposure of the clam *Ruditapes decussates* (L.) from southern Portugal. *Sci. Mar.* 61(2),163–171.
- Suárez-Moo, P.J., Calderón-Aguilera, L.E., Reyes-Bonilla, H., Díaz-Erales, G., Castañeda-Fernández de Lara, V., Aragón-Noriega, E.A., Rocha-Olivares, A., 2012. Integrating genetic, phenotypic and ecological analyses to assess the variation and clarify the distribution of the Cortes geoduck (*Panopea globosa*). *J Mar. Biol. Assoc. UK.* doi: [10.1017/S0025315412001464](https://doi.org/10.1017/S0025315412001464) (PA: 104333). 1–8.
- Walne, P.R., 1972. The influence of current speed, body size and water temperature on the filtration rate of five species of bivalve. *J Mar. Biol. Assoc. UK.* 52, 345–374.
- Widdows, J., Bayne, B.L., 1971. Temperature acclimation of *Mytilus edulis* with reference to its energy budget. *J. Mar. Biol. Assoc. UK.* 51, 827–843.
- Widdows, J., 1976. Physiological adaptations of *Mytilus edulis* to cyclic temperatures. *J. Comp. Physiol.* 105,115–128.
- Widdows, J., 1978. Physiological indices of stress in *Mytilus edulis*. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 58,125–142.
- Winter, J.E., 1978. A review on the knowledge of suspension-feeding in lamellibranchiate bivalves, with special reference to artificial aquaculture systems. *Aquaculture*, 13, 1–33.