



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS  
DEL NOROESTE, S.C.

---

---

Programa de Estudios de Posgrado

MARCO AMBIENTAL Y CAPACIDAD DE  
RECUPERACIÓN ANTE ESTRÉS TÉRMICO DEL  
ABULÓN AZUL (*Haliotis fulgens*, Philippi 1845)  
PROVENIENTES DE LA ZONA DE BAHÍA  
TORTUGAS, B.C.S.

Tesis

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales  
(Orientación Biología Marina)

Presenta

**Himilce Velasco Echavarría**

La Paz, Baja California Sur, Julio del 2014.

## ACTA DE LIBERACION

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 12:00 horas del día 1° del Mes de Julio del 2014, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

"Marco ambiental y capacidad de recuperación ante estrés térmico del abulón azul (*Haliotis fulgens*, Philippi 1845) provenientes de la zona de Bahía Tortugas, B.C.S."

Presentada por el alumno:

Himilce Velasco Echavarría

Aspirante al Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACION EN Biología Marina

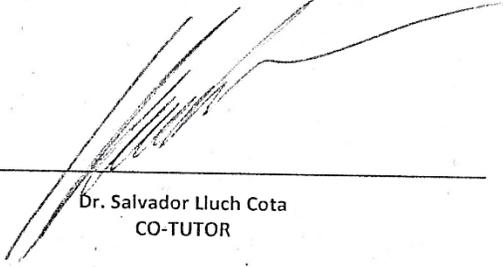
Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA



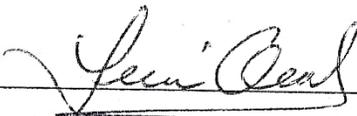
---

Dra. Ma. Teresa Sicard González  
DIRECTOR DE TESIS



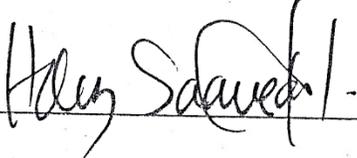
---

Dr. Salvador Lluch Cota  
CO-TUTOR



---

Dra. Lucía Ocampo Victoria  
CO-TUTOR



---

Dra. Norma Yolanda Hernández Saavedra

Encargada del Despacho de la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos

## **CONFORMACION DE COMITÉS**

### **Comité tutorial**

Dra. Ma. Teresa Sicard González

Dr. Salvador Lluch Cota

Dra. Lucia Ocampo Victoria

### **Comité revisor de Tesis**

Dra. Ma. Teresa Sicard González

Dr. Salvador Lluch Cota

Dra. Lucia Ocampo Victoria

### **Jurado de Examen**

Dra. Ma. Teresa Sicard González

Dr. Salvador Lluch Cota

Dra. Lucia Ocampo Victoria

Dr. Teodoro Reynoso Granados (Suplente)

## RESUMEN

El abulón representa uno de los recursos pesqueros de mayor importancia para la costa occidental de la Península de Baja California, siendo *Haliotis fulgens* (abulón azul) la especie más relevante. No obstante, en los últimos 15 se ha observado la disminución continua de las capturas y mortalidades naturales elevadas, que no han sido explicadas. Lo anterior ha obligado al sector pesquero a dirigir sus esfuerzos hacia la acuicultura para lograr abastecer el mercado, particularmente en la zona de Bahía Tortugas, B. C. S. Sin embargo, no se cuenta con suficiente información ambiental, ni biológica, que permita asociar las causas del problema y establecer cultivos exitosos. Debido a la alta variabilidad climática que se presenta a lo largo de la Península de Baja California, determinar el marco ambiental (termotolerancia y temperatura óptima) es un punto clave de partida, ya que provee un índice fisiológico y ecológico que debe ser analizado para los organismos de una zona en particular. En el presente trabajo se determinó la Temperatura Óptima de Crecimiento (TOC) mediante el Potencial de Crecimiento (PC) a diferentes temperaturas de aclimatación (11, 14, 17, 20, 23, 26 y 29°C); los intervalos de tolerancia mediante temperatura letal incipiente (TLi) y la capacidad de recuperación ante estrés térmico (CR) en juveniles de 31.8±1.4mm provenientes de Bahía Tortugas, B.C.S. Se encontró un marcado comportamiento diurno-nocturno con diferencias del 17.7% en tasa respiratoria (TR) nocturna respecto a la diurna; una alta relación ingestión-peso húmedo (1.4%); altas eficiencias de absorción (91-94%); la excreción de amonio fue muy baja, representando tan solo el 0.0009% de la ecuación de balance energético. La TOC encontrada fue de 23°C, congruente a la latitud y con la caracterización térmica mostrada en la zona; el intervalo de tolerancia observado fue de <3-35°C; la Temperatura Crítica Máxima (CTMáx) fue de 31°C y la Temperatura Crítica Mínima (CTMín) <3°C; CR con mortalidad de 0% a 3°C y 100% a 35°C.

Palabras clave: *Haliotis fulgens*, Temperatura óptima de crecimiento, Intervalo de tolerancia.

## ABSTRACT

The abalone fishery is one of the most important resources in the western coast of the Baja California Peninsula where *Haliotis fulgens* (green abalone) is one of the most important species. In the past 15 years, a continuous decline in catches has been observed, including natural mortalities. However, more information is needed to explain the causes, which has led the fishing sector to direct their efforts to achieve aquaculture supply to the local market, particularly in the area of Bahía Tortugas, BCS, Mexico. However, the lack of biological or ecological information represents a problem to associate the causes to these mortalities and establish a successful culture. Determining the environmental framework (thermo-tolerance and optimum temperature) due to the high climatic variability that occurs along the Peninsula of Baja California is a key starting point, as it provides a physiological and ecological index to be used for organisms in a particular area. In this study the optimum temperature for growth (TOC) were determined by means of scope for growth (PC) with different acclimation temperatures (11, 14, 17, 20, 23, 26, and 29° C); the thermal tolerance through incipient lethal temperature (TLi) and the capacity for thermal stress recovery was evaluated by means of mortality (CR). Green abalone juveniles were used with a shell length of  $31.8 \pm 1.4$ mm from Bahía Tortugas, B.C.S. A well-marked day-night behavior was found by the differences in the respiratory rate (TR); the resulting nocturnal respiratory rate was 17.7% higher than the diurnal rate; a high relationship between ingestion and wet weight (1.4%) and high absorption efficiency (91-94%) were found; the ammonia excretion rate was low representing only 0.0009% from the energy budget; The optimum temperature for growth was found at 23°C, which corresponds to the latitude and with the thermal characterization of the region; thermal tolerance was beneath 3° C to 35° C; The maximal critical temperature (CTMax) was 31° C and the minimum (CTMin) was < 3° C; recovery capacity was 0% at 3° C and 100% at 35° C.

**Key words:** *Haliotis fulgens*, Optimum temperature for growth, Thermal tolerance.

**DEDICATORIA**

*A mi padres, por ser mi inspiración, por enseñarme todo lo que se, por estar junto a mí en cada parte del camino, me dieron fortaleza y valentía para seguir.*

*Papi por darme el ejemplo a nunca darme por vencida, por enseñarme este mundo de la ciencia y explicarme todo lo que sabes, por entender e involucrarte en mis locuras.*

*Mami por dejarme volar alto sin importar cuanto nos doliera a ambas, por nunca decirme que no y seguirme a donde sea que se me ocurriera.*

*Porque "juntarme a la bola" es lo mejor que existe.*

*"...Está linda la mar, y el viento lleva esencia sutil de azahar, yo siento en el alma una alondra cantar tu acento. Te voy a contar un cuento"*

*(Rubén Darío, 1907)*

*Muchas son las personas a las que les debo un ENORME GRACIAS, que son parte fundamental tanto de mi vida como de este proyecto en el me sumergí, a muchos de ustedes se los he dicho durante el trayecto y casi todos saben cómo me siento al respecto de este apartado, de cualquier forma aprovecharé para decirles de nuevo que estoy INFINITAMENTE agradecida con todos ustedes, los que estuvieron física, emocional y espiritualmente conmigo, muchos de ustedes son los pilares que me sostienen y en los que se apoya este trabajo, sin ustedes (¡sí! ya saben quiénes) ni yo, ni mi pequeño cuento sobre abulón estaríamos aquí.*

*Gracias a los que colaboraron en este proyecto, de cualquier u otra forma y porque no, también MIL GRACIAS a todos aquellos que no lo hicieron, también por ustedes este bebé está aquí y orgullosamente puedo decir que lo logré, y me satisface más haberlo alcanzado de esta forma. Porque a pesar de todos los obstáculos, hoy estamos aquí...*

*Definitivamente la lista es larga, así que tomemos aire y empecemos.*

*“A todas las niñas valientes que salen a realizar sus sueños”  
(Ruben Darío, 1907)*

## AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. por permitirme realizar mis Estudios de Posgrado en la Institución y brindarme todo el apoyo posible.

A CONACYT por la beca de Maestría otorgada con el número 261463, la cual me permitió la realización de este trabajo.

Al proyecto “Evaluación del recurso abulón vinculado al cambio climático y sus efectos en los patrones biológicos ambientales” SAGARPA 126574, por los fondos otorgados que permitieron la realización de este y otros trabajos.

Al Sr. Daniel Aguilar de la Cooperativa Pesquera de Bahía Tortugas por el apoyo con el material biológico para la realización de este y otros proyectos.

A mi Directora de Tesis le agradezco la ayuda y consejos brindados, el tiempo y la comprensión otorgada y por su invaluable apoyo durante la realización de este trabajo.

Al Comité Tutorial, gracias por el apoyo, la asesoría, recomendaciones, correcciones del trabajo y sus aportaciones al escrito.

A todo el personal del Laboratorio de Ecofisiología de Organismos Acuáticos Ing. Gilberto González Soriano, Ing. Julio Félix Domínguez y a M. en C. Rosalinda Salgado, por los entrenamientos técnicos para el uso de equipos y sistemas, y por el apoyo en el procesamiento de muestras.

Al personal del Laboratorio de Respiración, M. en C. Mónica Reza, por el apoyo técnico y consejos brindados.

Al M. en C. Roberto Hernández Herrera del Laboratorio de Bioquímica Fisiológica por el procesamiento de muestras y el entrenamiento otorgado en las diferentes técnicas.

Al Ing. Ibán Murillo Murillo, del Laboratorio de Análisis Químico de Agua por el análisis de las muestras de amonio y la asesoría brindada.

Al personal del Laboratorio de Modelación y Pronóstico Pesquero por el tiempo y apoyo otorgado al pasar los videos de comportamiento de abulón a forma digital.

Al Ing. Jorge Cobos del Taller de Maquinados por la elaboración de las cámaras de incubación.

Al M. en C. Miguel Tripp por su apoyo con el manejo de los datos de temperatura del sitio.

A la Dra. Carmen Rodríguez Jaramillo y a la técnico Eulalia Meza Chávez del Laboratorio de Histología e Histoquímica que a pesar de cambiar el tema de tesis, me brindaron su apoyo, asesoría, tiempo y conocimiento.

A mis compañeros del laboratorio: Ing. Alan Ulaje, Ing. Jorge Ocampo y al Biol. Donaldo Quiñonez, por ayudarme en los bioensayos y a procesar las muestras, por enseñarme, por hacerme reír en todo momento y por compartir todo este proceso conmigo.

Al B.M. Samuel Calderón, por apoyarme en mis preliminares y durante mis últimos experimentos, por tenerme paciencia y aguantar mis ataques de estrés, de verdad gracias por no dejarme solita, por ser mi guía en muchas cosas y por enseñarme a cuidar a los bebés. Por favor sigue cuidándolos por mí.

A la Ing. Karla Meléndez (Maggy) por aventurarte junto conmigo durante todos mis bioensayos, por ser mi mano derecha y ayudarme a sacar esta tesis, Mil Millones de Gracias por enseñarme que trabajar y divertirse pueden hacerse al mismo tiempo. Porque sin importar la tonelada de cosas pendientes te reías y decías que eran cosas buena onda por hacer. Nadaremos....

Al Ing. Edgar Argüelles por ayudarme durante todo el proceso de esta tesis, la parte técnica y escrita, por levantarme en cada caída y estar ahí a pesar de toda mi locura. Gracias por escuchar y hacerme mantener la cordura. Recuerda que el espacio es curvo.

A todo el personal de la Dirección de Estudios de Posgrado por todo el apoyo otorgado durante mi estancia en el CIB, por las molestias que les di, asesoría, pláticas y consultas.

A todo el personal de Biblioteca, Ana María Talamantes, Susana Luna García, Esther Ojeda y Elizabeth Sánchez Vázquez. Muchísimas gracias por TODO, las pláticas, consejos, buenos ratos, libros, artículos y terapias, además, perdón por tanta lata.

A Ing. Horacio Gómez Sandoval por la ayuda, la amable atención y todo el soporte técnico, además, perdón por las molestias.

A la maestra Diana Dorantes por su asesoría en la edición del abstract.

A todos mis bebés que murieron en pro de la ciencia: *Sugar, Whitey, Franky, Ternurín, Agustín, Juancho, Anuar, Chemisse, Duna, Gordis, Aurora, Chepe, Flako, Sopita, Kiko, Mar, Baby, Marlín, Candy, Boreal, Bebe, Benjamín, Guguz, Cuko, Honey, Blanca Nieves, ET, Chuy, Lalo, Joelo, Conejito, John Doe, Lyla, Nan, Pitágoras, Sirenita, Titi, Nenis, Polar, Toro, Pina, Max, Paco, Sebastián, Pakistán, Roberta, Tencha, Wave, Terrón, Petunia, Sabana.....*y a todos los que faltaron.

A Viri, mil gracias por ser la mejor roomy que podría tener, por las horas de terapia, por compartir un montón de cosas juntas, desde las ventas nocturnas hasta los viajes en grúa. ¡¡¡¡GRACIAS!!!!

A todos los amigos que me encontré en este camino y a los que ya estaban, que me ayudaron a seguir y no perderme en el trayecto. Por todas las porras y ánimos brindados. GRACIAS: Abbyta, Arianna, Grecia, Elvira, Miguel Ángel, Rocío, Nurens y Andrés (mero).

A mis lindas y queridas CUCUS, porque después de estos 8 años lejos seguimos siendo las mejores amigas. MIL GRACIAS, porque a pesar de la distancia siempre han sabido como apoyarme y estar conmigo. Las quiero más que nunca por dejarme soñar y seguir a mi lado.

Los últimos siempre serán los primeros. Al Canal Cultural con todos sus miembros honorarios y agregados, presentes o ausentes: Myrni, Iara, Adriana, Joss, Mariana, Ayín, Cristina, Manuel. Pocos tenemos la fortuna de tener tan buenos amigos como ustedes, así que MUCHÍSIMAS GRACIAS por los momentos, risas y aventuras juntos, sin lugar a dudas hicieron de este trayecto el mejor de todos. Ustedes aligeraron la carga.

A bebé Taiga y Richard Parker (Titi), porque sin importar nada, siempre me recibían con mucho amor. Gracias por hacer la casa un cálido hogar.

A mi hermosa familia, a todos y cada uno de ustedes que aunque estando muy lejos me mantuvieron al tanto de cada reunión, cumpleaños, evento importante, viajes y todo. Gracias por apoyarme siempre, dejarme ser y estar conmigo en el teléfono con risas o llanto. Los quiero mucho a todos: Lore, Emilo, Demian, Sandy, Tia Luzma, Mayrita, Heidi, Leito, Padrino, Nina, Manina Chela y a mi Toty.

A mis abuelos, los que ya partieron y los que están aquí, por siempre estar conmigo. Por cuidarme y darme ese apapacho de aliento, por darme la mano y enseñarme el camino correcto. Los quiero mucho y GRACIAS por consentirme en TODO.

Y no menos importante a mi Mami y mi Papi. Las palabras no me alcanzan para expresarles todo lo que siento. Sin su ejemplo no sería quien soy, ni quien quiero llegar a ser. Gracias por enseñarme todo lo que sé, por dejarme seguir mis sueños aunque representara volar lejos de casa y sobre todo por seguirme en el camino y nunca dejarme sola. Y porque ser educada por “monos”, fue lo mejor que me podría haber pasado. LOS AMO.

Nuevamente Gracias a todos por participar de una u otra forma, por ser mis pilares, amigos, obstáculos, alegrías y todo lo demás.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	i
ABSTRACT .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABLAS.....	xii
LISTA DE ABREVIACIONES .....	xiii
LISTA DE FORMULAS .....	xiv
GLOSARIO .....	xv
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. JUSTIFICACIÓN.....	8
4. HIPOTESIS.....	9
5. OBJETIVO.....	9
5.1 General.....	9
5.2 Específicos .....	9
6. METODOLOGÍA.....	10
6.1 Diseño experimental .....	10
6.2 Organismos experimentales.....	11
6.3 Aclimatación.....	11
6.4 Determinación de Actividad de los Organismos .....	13
6.5 Temperatura Óptima de Crecimiento.....	14
6.6 Tasa de ingestión.....	15
6.7 Eficiencia de Absorción .....	17
6.8 Tasa de Absorción .....	17
6.9 Tasa de Excreción de Amonio .....	18
6.10 Tasa respiratoria.....	18
6.11 Modelos para Potencial de Crecimiento.....	19
6.12 Peso seco de tejido.....	19
6.13 Termotolerancia .....	19
6.14 Contenido bioquímico .....	19
6.14.1 Carbohidratos totales.....	20
6.14.2 Proteínas Totales.....	20

6.14.3	Lípidos Totales.....	21
6.15	Caracterización térmica.....	22
6.16	Análisis Estadísticos.....	22
7.	RESULTADOS .....	23
7.1	Actividad de los Organismos y Tasa Respiratoria.....	23
7.2	Tasa de ingestión.....	25
7.3	Eficiencia de absorción.....	26
7.4	Tasa de absorción.....	26
7.5	Tasa de Excreción de Amonio .....	27
7.6	Potencial de Crecimiento .....	29
7.7	Peso húmedo.....	31
7.8	Peso seco.....	32
7.9	Termotolerancia.....	33
7.9.1	Temperatura Letal Incipiente.....	33
7.10	Contenido bioquímico .....	33
7.10.1	Carbohidratos.....	33
7.10.2	Proteínas .....	34
7.10.3	Lípidos .....	34
7.11	Caracterización térmica.....	36
8.	DISCUSIÓN.....	37
9.	CONCLUSIONES .....	44
10.	RECOMENDACIONES .....	45
11.	LITERATURA CITADA.....	46
12.	ANEXOS .....	53
12.1	Anexo I: MAPA.....	53
12.2	Anexo II: ALIMENTO BALANCEADO.....	54
12.3	Anexo III: RESULTADOS .....	55

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diseño experimental para evaluar la temperatura óptima de crecimiento mediante el potencial de crecimiento (PC), los límites de tolerancia térmicos por medio de la temperatura letal incipiente (TLi) y la capacidad de recuperación de organismos juveniles del abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> ). Los puntos negros representan diferentes temperaturas experimentales. ....	10
<b>Figura 2.</b> Esquema que señala los cambios térmicos durante la aclimatación. Las temperaturas experimentales señalan en óvalos rojos y las notas los días que permanecieron los organismos hasta completar su aclimatación en cada temperatura. ....	12
<b>Figura 3.</b> Mantenimiento individual de juveniles de abulón azul en las tinas del controlador térmico durante el proceso de aclimatación. ....	12
<b>Figura 4.</b> Sistema de cámaras de incubación herméticas, alimentadas mediante un sistema de flujo continuo y utilizadas para determinar la tasa respiratoria. ....	13
<b>Figura 5.</b> Registro de oxígeno disuelto por un oxímetro Microx TX, en la pantalla de una PC durante el curso de un bioensayo para evaluar la tasa respiratoria. Las crestas corresponden a los valores de oxígeno disuelto de las cámaras blanco y los valles a cámaras con organismos. ....	14
<b>Figura 6.</b> Tasa respiratoria ( $\text{mL O}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) de juveniles de abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> ) en las diferentes temperaturas de aclimatación, a lo largo de un día con intervalos de cuatro horas. ....	23
<b>Figura 7.</b> Tasa respiratoria diaria de juveniles de abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> ) en las diferentes temperaturas de aclimatación. ....	24
<b>Figura 8.</b> Tasa de ingestión obtenida para los juveniles de abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> ) en las diferentes temperaturas de aclimatación. ....	25
<b>Figura 9.</b> Eficiencia de absorción de juveniles de abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> ) a diferentes temperaturas de aclimatación. ....	26
<b>Figura 10.</b> Tasa de absorción de juveniles de abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> ), a diferentes temperaturas de aclimatación. ....	27
<b>Figura 11.</b> Tasa de excreción de amonio de juveniles de abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> ) a las diferentes temperaturas de aclimatación. Tiempo A y Tiempo B. ....	28
<b>Figura 12.</b> Tasa de excreción de amonio de juveniles de abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> ) en las diferentes temperaturas de aclimatación. ....	28
<b>Figura 13.</b> Potencial de crecimiento ( $\text{Joules} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ ) de juveniles de abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> ) en las diferentes temperaturas de aclimatación. ....	29
<b>Figura 14.</b> Tasas fisiológicas y Potencial de crecimiento en unidades energéticas ( $\text{Joules} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ )	31
<b>Figura 15.</b> Peso húmedo (g) de juveniles de abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> ) obtenido a diferentes temperaturas de aclimatación. ....	32
<b>Figura 16.</b> Peso seco (g) de juveniles de abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> ) obtenido a diferentes temperaturas de aclimatación. ....	32
<b>Figura 17.</b> Contenido bioquímico ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) de juveniles de abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> ) en las diferentes temperaturas de aclimatación. Señalando la media para cada temperatura y su desviación estándar. ....	35

<b>Figura 18.</b> Gráfica de distribución de frecuencias obtenida a partir de registros de alta frecuencia entre Agosto del 2012 y Septiembre del 2013 de Bahía Tortugas, B.C.S.....	36
<b>Figura 19.</b> Mapa de Bahía Tortugas y su locación en la península de Baja California Sur .....	53
<b>Figura 20.</b> Contenido del alimento balanceado utilizado .....	54

## LISTA DE TABLAS

Tabla I: Tasa respiratoria diurna-nocturna de juveniles de abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> ).....	24
Tabla II. Modelos para estimar la temperatura optima de crecimiento de juveniles de abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> ) en las diferentes temperaturas de aclimatación. Señalando los valores de cada variable y la ecuación de cada modelo. ....	30
Tabla III. Temperatura Letal incipiente y capacidad de recuperación de juveniles de abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> ). ....	33
Tabla IV: Temperatura promedio, máxima y mínima registradas en Bahía Tortugas .....	36
Tabla V: Tasa respiratoria por hora de juveniles de abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> ) en las diferentes temperaturas de aclimatación. ....	55
Tabla VI: Tasa respiratoria por hora de juveniles de abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> ). ....	55
Tabla VII: Tasa respiratoria diaria de juveniles de abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> ) en las diferentes temperaturas de aclimatación. ....	55
Tabla VIII: Tasa de ingestión obtenida para los juveniles de abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> ) en las diferentes temperaturas de aclimatación.....	56
Tabla IX: Eficiencia de absorción de juveniles de abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> ) a diferentes temperaturas de aclimatación. ....	56
Tabla X: Tasa de absorción de juveniles de abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> ), a diferentes temperaturas de aclimatación. ....	56
Tabla XI: Tasa de excreción de amonio de juveniles de abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> ) en las diferentes temperaturas de aclimatación.....	57
Tabla XII: Potencial de crecimiento ( $\text{Joules}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ ) de juveniles de abulón azul ( <i>Haliotis fulgens</i> ) en las diferentes temperaturas de aclimatación. ....	57

**LISTA DE ABREVIACIONES**

A: Actividad

BE: Balance energético

C: Carbohidratos totales

CR: capacidad de recuperación

EA: Eficiencia de absorción

L: Lípidos totales

PC: Potencial de crecimiento

Ph: Peso húmedo de tejido

Ps: Peso seco de tejido

Pt: Proteínas totales

TA: Tasa de absorción

TE: Tasa de excreción de desechos nitrogenados

TI: Tasa de ingestión

TLi: Temperatura letal incipiente

TOC: Temperatura óptima de crecimiento

TR: Tasa respiratoria

## LISTA DE FORMULAS

*Tasa respiratoria*

$$TR = \frac{(O_2^b - O_2^o)}{\text{Peso Seco}} \times \text{Flujo} \quad (1)$$

*Potencial de crecimiento*

$$PC = TI - (TH + TE + TR) \quad (2)$$

Modificación propuesta por Warren y Davis (1967)

$$PC = TA - [TR + TE] \quad (3)$$

*Tasa de ingestión o Tasa de ingesta*

$$TI = \frac{A_o - A_n}{t \times P_s} \quad (4)$$

*Eficiencia de Absorción*

$$EA = \frac{(F - E)}{(1 - E) \times F} \quad (5)$$

*Tasa de Absorción*

$$TA = TI \times EA \quad (6)$$

*Tasa de excreción*

$$TE = \frac{(E_o - E_b)}{t \times P_s} \times V \quad (7)$$

*Contenido bioquímico*

$$\text{Concentración (mg} \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{\text{Absorbancia medida} \times \text{Factor de dilución}}{\text{Pendiente de la curva} \times \text{Peso de la muestra}} \quad (8)$$

## GLOSARIO

Aclimatación	Cambios compensatorios que se suceden en un organismo que ha sido sometido a variaciones de su entorno.
Balance energético	Relación de los principales ingresos y egresos de energía en un organismo, establecidos a través de una ecuación.
Eficiencia de absorción	Representa el porcentaje de la materia orgánica del alimento que es absorbido. Asume que el abulón puede digerir y absorber el componente orgánico del alimento pero no la fracción inorgánica.
Límite de tolerancia térmico	Temperatura extrema crítica en la cual los organismos pierden la capacidad de responder y eventualmente los llevan a la muerte.
Marco ambiental	Condiciones ambientales en las que habita una población y está definido por sus límites de tolerancia y su zona óptima.
Mortalidad natural	Mortalidad que se presenta en una población y que no es atribuida a la actividad pesquera.
Óptimo térmico (o temperatura óptima de crecimiento)	Temperatura en la cual los procesos biológicos de los organismos son más eficientes, repercutiendo directamente en su actividad, crecimiento y capacidad reproductiva.
Potencial de crecimiento	Energía libre que tiene un organismo y puede destinarse a actividades como el crecimiento, almacenamiento de reservas energéticas, movimiento y reproducción.
Tasa de absorción	Materia orgánica que atraviesa la pared del tubo digestivo por unidad de tiempo.
Tasa de excreción de desechos nitrogenados	Cantidad de energía absorbida, que es producto del catabolismo del organismo por unidad de tiempo.
Tasa de excreción de heces	Materia orgánica e inorgánica particulada que no es absorbida por el tubo digestivo y es eliminada por el tracto digestivo, por unidad de tiempo.
Tasa de ingestión	Cantidad de alimento que pasa a través de la boca hacia el tubo digestivo por unidad de tiempo.
Tasa respiratoria	Medida indirecta de la tasa metabólica de los organismos, estimada por el consumo de oxígeno por unidad de tiempo. Indica el total de las transformaciones energéticas que se llevan a cabo. Usada

también como indicador del estado de actividad de un organismo.

Temperatura crítica máxima y mínima	Temperatura a la cual la actividad locomotriz se vuelve desorganizada (Cox, 1974)  Temperatura en la cual los organismos pierden su capacidad de desplazamiento o escape antes de que se presente mortalidad (Díaz <i>et al.</i> , 2006).
Temperatura letal incipiente	Método para determinar el intervalo de tolerancia térmica mediante aumentos o decrementos graduales hasta el punto de no retorno o mortalidad.
Termotolerancia	Capacidad que presentan los organismos para sobrevivir dentro de cierto intervalo térmico.

## 1. INTRODUCCIÓN

El abulón, es uno de los recursos de mayor importancia para el país, cuya demanda internacional, ha generado un desarrollo social y económico importante en la costa occidental de la Península de Baja California (Casas-Valdez y Ponce-Díaz, 1996; Mazón-Suastegui *et al.*, 1996; Lluch-Cota y Hernández-Vázquez, 2006).

Se trata de un gasterópodo perteneciente a la familia Haliotidae (Brusca y Brusca, 1990), cuyas especies sujetas a explotación, se distribuyen en la costa occidental de la Península de Baja California, desde la frontera con Estados Unidos hasta Isla Margarita en B.C.S. Estas especies son: abulón negro (*Haliotis cracherodii*), abulón rojo (*Haliotis rufescens*), abulón chino (*Haliotis sorenseni*), abulón azul (*Haliotis fulgens*) y abulón amarillo (*Haliotis corrugata*); siendo éstas dos últimas, las que tradicionalmente sostenían la pesquería de este recurso, con el 95-98% de la captura (Mazón-Suastegui *et al.*, 1996; Ponce-Díaz *et al.*, 2000; Lluch-Cota y Hernández-Vázquez, 2006; Díaz *et al.*, 2006). Sin embargo, debido a las drásticas disminuciones en las capturas de abulón amarillo, actualmente el abulón azul, es la especie que mantiene gran parte de la pesquería, por lo que se considera la especie de mayor importancia, para los estados de Baja California y Baja California Sur (Casas-Valdez y Ponce-Díaz, 1996; Lluch-Cota y Hernández-Vázquez, 2006; Díaz *et al.*, 2006). Adicionalmente, Shepherd *et al.* (1991) señalaron al abulón azul, como la especie de más rápido crecimiento en el mundo, tanto en campo como en cultivo.

De acuerdo con las estadísticas pesqueras, México llegó a ser uno de los principales productores de abulón del mundo (hace más de 30 años), junto con Australia y Japón, aportando el 37% de la captura total, con una producción de hasta 2,595 ton para 1990 y 1,226 ton en 1995 (Mazón-Suastegui *et al.*, 1996; CONAPESCA, 2011; Lluch-Cota y Hernández-Vázquez, 2006). Sin embargo, en los últimos 15 años, se han registrado descensos significativos en las capturas de este recurso, afectando la economía pesquera de la región Noroeste del país. La inconsistencia en la producción, mantiene en constante preocupación al sector pesquero: para 1968 la producción de abulón fue de 365 ton, en el

2001 se produjeron alrededor de 285 ton, para el 2010 se reportaron capturas de 778 ton y para el año siguiente (2011) la producción descendió a 464 ton (CONAPESCA, 2011).

Adicionalmente, en la última década, los productores han reportado eventos de mortalidades naturales masivas, que aún no han sido esclarecidas (Rodríguez-Valencia *et al.*, 2004; Lluch-Cota y Hernández-Vázquez, 2006). Las tendencias recientes de incremento de la temperatura del mar (Ponce-Díaz *et al.*, 2003), cambios en las características químicas del océano, cambios en la distribución de masas de agua y corrientes marinas, entre otras, posiblemente coincidan con dichas mortalidades impactando diferentes sistemas pesqueros (Veas *et al.*, 2012). Estas modificaciones pueden estar ocasionando que muchas especies bentónicas, incluido el abulón, queden fuera de sus límites de tolerancia, provocando estrés y eventualmente muerte (Mazón-Suastegui *et al.*, 1996; Lluch-Cota y Hernández-Vázquez, 2006).

El problema de las altas mortalidades en este recurso no es exclusivo de México, ya que estos eventos se han observado alrededor del mundo, como en Chile (Díaz, 2001; Hernández-Miranda *et al.*, 2012; Veas *et al.*, 2012), Japón (Cheung *et al.*, 2008), entre otros (Harley *et al.*, 2006). Aunque se han tratado de documentar las causas asociadas, tales como altas temperaturas, elevado contenido de amonio, bajos niveles de oxígeno disuelto y altos niveles bacterianos (Ponce-Díaz *et al.*, 2003; Vandeppeer, 2006; Taniguchi *et al.*, 2013), existe una pobre comprensión de los eventos debido a la falta de observación continua de variables ambientales y falta de información biológica de las especies. Por estas razones, los productores en los últimos años están optando a la acuicultura como una alternativa para la solución del abastecimiento del producto.

Particularmente la temperatura es considerada como el factor más importante que determina el nivel de actividad en organismos poiquiloterms (Bayne, 1976a). A diferencia de otros factores, se considera especial, debido a la vulnerabilidad de los individuos ante los cambios térmicos y por la capacidad de este factor de penetrar barreras físicas y potencialmente tener efectos dramáticos sobre la estructura de todas las macromoléculas

(Hickey y Singer, 2004). Así la temperatura, interviene en la velocidad de los procesos fisiológicos, provocando variaciones en el metabolismo, crecimiento y reproducción, por consiguiente, en las necesidades energéticas, la condición, el estado de salud y el crecimiento (Bernabé, 1991). Sin embargo, a pesar de la importancia de la temperatura, poco se conoce sobre el marco ambiental de las distintas especies de importancia comercial y menos aún sobre la capacidad de recuperación ante un evento extremo.

El conocimiento del marco ambiental de una especie involucra, determinar la termotolerancia y la temperatura óptima. Ambos, son influenciadas por el historial térmico de la especie y por la aclimatación, por lo que se considera un indicador ecológico relevante (Windsor *et al.*, 2005; Díaz *et al.*, 2006). La termotolerancia (que es la capacidad que presentan los organismos para sobrevivir dentro de cierto intervalo térmico) puede estimarse por medio de la temperatura letal media ( $TL_{50}$ ) haciendo un bioensayo de dosis-respuesta a un tiempo definido (Fry, 1947) o bien conociendo la temperatura letal incipiente ( $TL_i$ ), sometiendo a un grupo de organismos a incrementos o decrementos térmicos graduales, hasta observar el punto de no retorno en el cual se presenta mortalidad (Fry, 1947). La temperatura crítica máxima (CTM<sub>ax</sub>), por su parte, es también un indicador de tolerancia térmica que fue definido para peces (y ha sido usado para otros organismos con capacidad de desplazamiento) y es el punto en el que los organismos pierden su capacidad de desplazamiento, antes de que sobrevenga la muerte (Díaz *et al.*, 2006). En cuanto a la temperatura óptima (el punto donde se maximizan los procesos fisiológicos), puede calcularse observando el crecimiento directo a distintas temperaturas o por medio de la estimación de la energía libre a diferentes temperaturas midiendo el marco de actividad o el potencial de crecimiento (Fry, 1947). Particularmente el potencial de crecimiento, es una herramienta muy útil por presentar una integración de los procesos fisiológicos y un índice de respuesta del organismo a los cambios del medio (Bayne, 1976b). La estimación del potencial de crecimiento se realiza a través de la ecuación del balance energético, la cual contempla las principales tasas fisiológicas de

ganancia y pérdida de energía en el organismo, tales como: ingestión, respiración, absorción y excreción (Lehninger, 1971; Bayne, 1976a; Lucas, 1996).

Con la finalidad de contribuir al desarrollo de los cultivos en la zona de Bahía Tortugas y aportar información relevante sobre la capacidad térmica del abulón azul, en el presente trabajo, se determinó la termotolerancia y la temperatura óptima de crecimiento en relación a la aclimatación térmica, en juveniles de abulón azul provenientes de la localidad de Bahía Tortugas, B.C.S. Así mismo, se observó la capacidad de recuperación de estos organismos ante un evento de estrés térmico.

## 2. ANTECEDENTES

Existen pocos trabajos que aborden el problema del decremento de las poblaciones de abulón en el país. Principalmente se ha señalado que la sobrepesca o la falta de regulación pesquera, ha impedido la recuperación de las poblaciones sobre las dos especies de importancia comercial (*H. fulgens* y *H. corrugata*) (Shepherd *et al.*, 1991; Mazón-Suastegui *et al.*, 1996; Ponce-Díaz *et al.*, 2000; Ponce-Díaz *et al.*, 2003; Lluch-Cota y Hernández-Vázquez, 2006; Morales-Bojórquez *et al.*, 2008). Sin embargo, algunos autores han señalado que el descenso de las poblaciones puede estar asociado a fluctuaciones ambientales (Mazón-Suastegui *et al.*, 1996; Ponce-Díaz *et al.*, 2003).

La región Pacífico Norte presenta una intensa actividad de producción biológica, relacionada con la interacción de diversos procesos físicos como surgencias costeras, intrusión de aguas subárticas, efectos de fenómenos de origen tropical (como el ENSO) (Herrera-Cervantes *et al.*, 2014). Por esta alta dinámica, y por tratarse de una región transicional entre los dominios templado y tropical (Lluch-Belda *et al.*, 2003), existe una variabilidad espacial y temporal particularmente alta.

Los cambios de abundancia observados por Mazón-Suastegui *et al.*, (1996) y Ponce-Díaz *et al.* (2003) fueron atribuidos a que las tormentas, lluvias y el mal tiempo ocasionados por el fenómeno de “El Niño-Oscilación del Sur” (ENSO) provocan el debilitamiento de los organismos, haciéndolos más susceptibles a enfermedades, parásitos, depredación y eventualmente mortalidad. Así mismo, Ponce-Díaz y colaboradores (2003), mencionan que posiblemente existe un efecto negativo a causa de este fenómeno, donde se presentan mortalidades de postlarvas a 7° y 31°C, además que las altas temperaturas inciden sobre los eventos reproductivos en los bancos de abulón (*Haliotis spp*) en Bahía Asunción. Comentaron también, que estas variaciones pueden diferir entre localidades, es decir, que las poblaciones poseen diferente tolerancia. Rodríguez-Valencia *et al.* (2004) observaron que ante temporales, las poblaciones de *H. fulgens* y *H. corrugata* de Isla Cedros se ven afectadas por el aumento de la temperatura,

mientras que en San Agustín este efecto estuvo ausente y que es posible que lo anterior se deba a los efectos de aclimatación locales de las poblaciones.

En relación a las respuestas fisiológicas del abulón azul, Farías *et al.* (2003), estudiaron las respuestas de la tasas de ingestión, tasa respiratoria y tasa de excreción de amonio en juveniles de abulón azul mantenidos a 16°C y las relacionaron con la talla corporal y la dieta. Las observaciones más relevantes fueron que organismos alimentados con dietas balanceadas presentaron tasas de ingesta menores a aquellos que están bajo dietas naturales. Encontraron una relación del 0.5% de la ingesta respecto al peso húmedo de organismos de 20-30 mm, mientras que para organismos de mayor talla la relación es menor. Así mismo, estos autores determinaron el potencial de crecimiento de 99.8 J·día<sup>-1</sup> (10 mm) y de 173.7 J·día<sup>-1</sup> (50 mm), con valores de eficiencia de absorción de 84.9% para organismos de 40-50 mm de longitud de la concha y 89.3 % para 10-20 mm. En 2007, García-Esquivel *et al.* estudiaron el efecto de la temperatura y fotoperiodo sobre el crecimiento, alimentación y contenido bioquímico de juveniles de abulón azul provenientes de Eréndira B.C. Reportando tasas de crecimiento mayores (109 ± 4.3 µm/día) en organismos mantenidos a temperaturas frías (20°C) comparativamente con la de 25°C (38 ± 4.1 µm/día), usando fotoperiodos de 12 horas luz y 12 oscuridad. Estos autores enfatizan que a 25°C el cultivo de abulón se traduce en acumulación de estrés, alteración de ritmos fisiológicos y retraso en la maduración, por lo que recomiendan temperaturas menores.

Con respecto a la termotolerancia de la especie se han realizado algunos estudios los cuales, parecen discrepar unos de otros. Leighton (1981), menciona que *H. fulgens* es una especie cálida respecto a otras especies, que muestra un crecimiento acelerado a los 28°C. Leighton *et al.* (1981), sugieren que para organismos provenientes de California EUA, el intervalo de tolerancia térmica en juveniles de esta especie se encuentra entre 22°C a 28°C y estimaron la temperatura letal media (TLM<sub>50</sub>) en 31.5°C a 48 horas de exposición. Con respecto a lo anterior Ponce-Díaz *et al.* (2004) realizaron un bioensayo en

el cual organismos juveniles de abulón azul fueron sometidos bajo un régimen de temperaturas de un año normal (entre 18°C a 21°C) contra un régimen de temperaturas del Niño de 1997 a 1998 (20°C a 28°C) tal como se manifestó en Bahía Asunción, Baja California Sur. Estos autores observaron que las temperaturas entre 20°C a 28°C promovieron el mayor crecimiento de los organismos. Díaz *et al.*, (2006), mencionan que el intervalo óptimo se encuentra entre los 24-28°C, para organismos provenientes de Eréndira, B.C. Mediante un gradiente térmico horizontal, estimaron la preferencia en aquella temperatura en la cual los organismos se congregaron, encontrando 25.4 y 25.0°C para el abulón azul y amarillo respectivamente. La temperatura óptima de crecimiento fue calculada por medio de la ecuación de Jobling (1981), encontrando que para el abulón azul fue de 24.6°C y de 24.5°C para el abulón amarillo. La temperatura crítica máxima (CTMax) para estas especies fue calculada en 33.6°C y 32.0°C, respectivamente. Sin embargo, McBride *et al.* (2001), en organismos de esta especie bajo condiciones de cultivo, reportaron un mayor potencial de crecimiento en el intervalo de 20°C a 22°C y para organismos provenientes de Cedros B.C.S, González-Avilés y Shepherd (1996) indican que existe un mayor crecimiento en temperaturas entre 20-23°C.

A la luz de las diferencias encontradas entre autores sobre la termotolerancia, debidas posiblemente al origen de los organismos y dado que en la zona de Bahía Tortugas, B.C.S. se ubican algunas de las principales iniciativas de cultivo de abulón, el presente trabajo consideró la importancia de determinar la termotolerancia, temperatura óptima de crecimiento y capacidad de recuperación ante un evento térmico extremo, para organismos provenientes de esta zona.

### 3. JUSTIFICACIÓN

El abulón azul, *Haliotis fulgens*, es un recurso pesquero importante para la costa occidental de la Península de Baja California, debido a que genera una gran actividad económica y social en la zona. Adicionalmente, su cultivo representa una de las alternativas productivas de mayor interés en la zona. En este sentido, es necesario generar información biológica básica y asociada a las diferentes localidades. Particularmente el marco ambiental y la capacidad de recuperación ante un estrés térmico de esta especie representan piezas clave de información tanto para el manejo pesquero como para el desarrollo de cultivo.

#### 4. HIPOTESIS

Dado que la región Pacífico norte presenta una variabilidad ambiental especialmente alta, tanto en el dominio del tiempo como del espacio, y que las presiones ambientales determinan el éxito de los organismos, se espera que el marco ambiental, la temperatura óptima y los límites de tolerancia de los organismos provenientes de la zona de Bahía Tortugas, B.C.S., sean congruentes con las características térmicas particulares de la localidad.

#### 5. OBJETIVO

##### 5.1 General

Establecer el marco ambiental y capacidad de recuperación ante estrés térmico del abulón azul (*Haliotis fulgens*) de organismos provenientes de la zona de Bahía Tortugas, B.C.S.

##### 5.2 Específicos

Estimar para juveniles de abulón azul (*H. fulgens*) de la zona de Bahía Tortugas, B.C.S.:

- Temperatura óptima de crecimiento.
- La termotolerancia.
- Capacidad de recuperación ante estrés térmico.

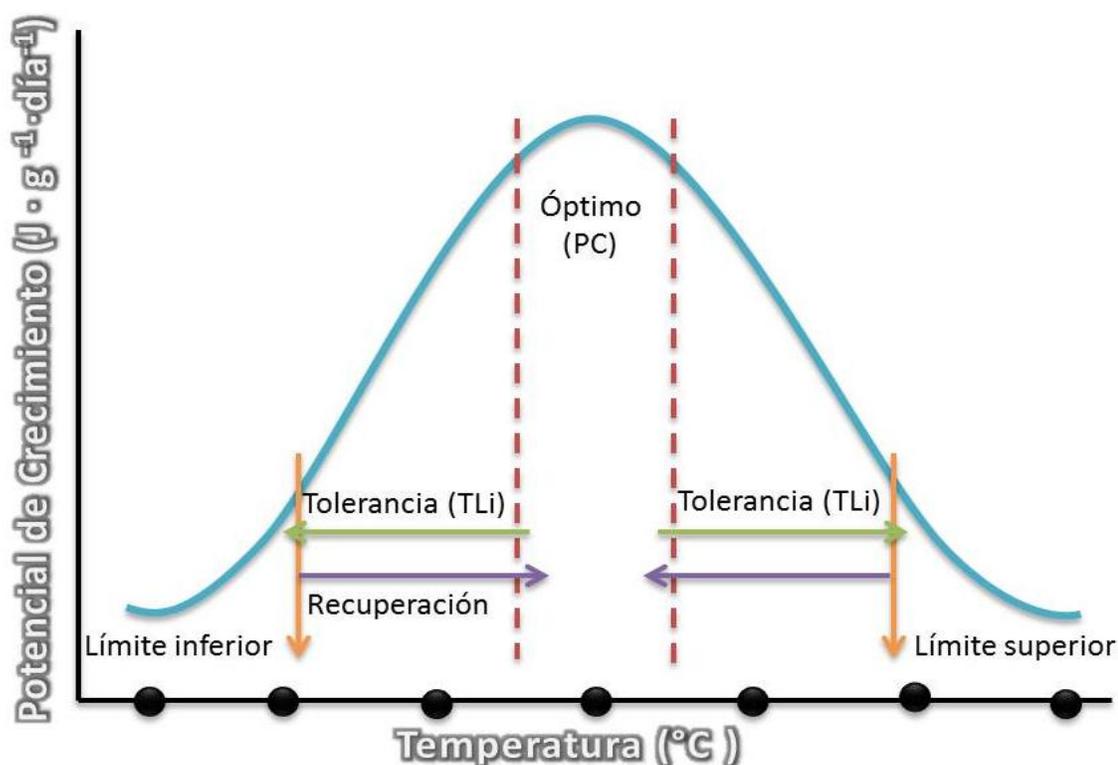
Para el sitio de Bahía Tortugas:

- La caracterización térmica de la zona, en base a registros de alta frecuencia.

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1 Diseño experimental

El diseño experimental consistió en aclimatar organismos a diferentes temperaturas y determinar en cada una la energía libre, mediante la estimación del Potencial de Crecimiento (PC). Otro grupo de organismos se llevaron paralelamente hasta temperaturas extremas para determinar sus límites de tolerancia por medio del cálculo de la Temperatura Letal Incipiente (TLi) y una vez que se inició la mortalidad, la mitad de estos organismos fueron regresados a temperaturas sub-letales para observar la capacidad de recuperación (Figura 1).



**Figura 1.** Diseño experimental para evaluar la temperatura óptima de crecimiento mediante el potencial de crecimiento (PC), los límites de tolerancia térmica por medio de la temperatura letal incipiente (TLi) y la capacidad de recuperación de organismos juveniles del abulón azul (*Haliotis fulgens*). Los puntos negros representan diferentes temperaturas experimentales.

## 6.2 Organismos experimentales

En el presente trabajo se utilizaron juveniles de abulón azul de  $\approx 30$ mm, proporcionados por la Cooperativa Pesquera de Bahía Tortugas, B.C.S. (ver mapa de la zona en Anexo I). Los organismos fueron transportados al Laboratorio de Ecofisiología de Organismos Acuáticos del CIBNOR, en medio húmedo y a su llegada se mantuvieron a 20°C, 39 ups, en agua marina filtrada a 5 $\mu$ m, fotoperíodo de 12:12 luz-obscuridad. La alimentación se llevó a cabo con la macroalga *Macrocystis pyrifera*, que fue previamente rehidratada y proporcionada cada tercer día. Los recambios de agua se realizaron diariamente al 90%.

## 6.3 Aclimatación

Un total de 90 abulones de 31.8 mm ( $\pm 1.4$ ) de longitud fueron aclimatados a las temperaturas experimentales de 11°, 14°, 17°, 20°, 23°, 26° y 29°C. Los organismos se dividieron en 2 lotes de 45 individuos cada uno y la aclimatación se llevó a cabo incrementando o disminuyendo la temperatura en 1°C·día<sup>-1</sup> hasta alcanzar las temperaturas deseadas (Figura 2). Se consideró que los organismos estaban aclimatados cuando se restablecieron la alimentación y la actividad de los organismos en cada temperatura. El control térmico se realizó mediante un controlador térmico.

En esta etapa, los organismos se colocaron de manera individual en cámaras de incubación de 570 mL para evitar manipularlos. Para dar seguimiento al peso de los organismos, las cámaras fueron previamente etiquetadas y pesadas. Así mismo, se pesó cada organismo antes de colocarlo en la cámara, durante la aclimatación y en cada bioensayo. Las cámaras se mantuvieron dentro de los tanques del controlador térmico en un volumen de 140 L (Figura 3).

Para asegurar un aporte calórico uniforme, tanto en el período de aclimatación como en el experimental, la alimentación se realizó a base de pellets comerciales

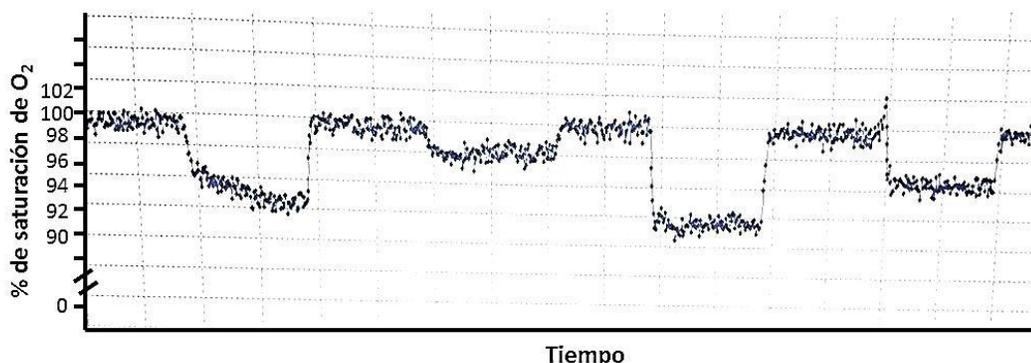


#### 6.4 Determinación de Actividad de los Organismos

Debido a que los abulones presentan un marcado comportamiento diurno-nocturno, se estimaron los cambios de actividad diaria. La evaluación la actividad se determinó por medio de la tasa respiratoria (TR) en periodos de 4 h a lo largo del día, para cada temperatura de aclimatación (11°, 14°, 17°, 20°, 23°, 26° y 29°C). Para cada bioensayo, 20 organismos fueron incubados de forma individual dentro de un sistema de cámaras herméticas con flujo continuo, manteniendo éste entre 30-50 mL·min<sup>-1</sup>. Las cámaras se ubicaron en dos tanques con controlador de temperatura en juegos de 10, además de dos cámaras blanco sin organismos como testigo. El sistema de cámaras se conectó a un distribuidor con válvulas para la entrada y salida de agua, y fue alimentado con agua marina filtrada a 5 µm a la temperatura experimental (Figura 4). La estimación de la TR y la concentración de oxígeno disuelto se midieron usando un oxímetro Microx TX con un sensor de fibra óptica, ubicado dentro de una celda de flujo continuo ubicada en el distribuidor del sistema. Las lecturas se realizaron cada segundo por intervalos de 2 minutos en cada cámara. El oxígeno disuelto se registró en un ordenador en el cual simultáneamente los datos se guardaron en un archivo específico (Figura 5).



**Figura 4.** Sistema de cámaras de incubación herméticas, alimentadas mediante un sistema de flujo continuo y utilizadas para determinar la tasa respiratoria.



**Figura 5.** Registro de oxígeno disuelto por un oxímetro Microx TX, en la pantalla de una PC durante el curso de un bioensayo para evaluar la tasa respiratoria. Las crestas corresponden a los valores de oxígeno disuelto de las cámaras blanco y los valles a cámaras con organismos.

Una vez obtenidos los registros de oxígeno disuelto, la tasa respiratoria se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$TR = \frac{(O_2b - O_2o)}{\text{Peso seco}} \times \text{Flujo} \quad (1)$$

Donde:

TR= Tasa Respiratoria ( $\text{mL O}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )

$O_2b$ = Concentración de oxígeno en cámara blanco ( $\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$ )

$O_2o$ = Concentración de oxígeno en cámara con organismo ( $\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$ )

Fj= Flujo de agua a través de la cámara ( $\text{mL} \cdot \text{h}^{-1}$ )

Ps= Peso seco del tejido de los organismos incubados (g)

### 6.5 Temperatura Óptima de Crecimiento

La Temperatura Óptima de Crecimiento (TOC) se determinó calculando el Potencial de Crecimiento (PC) en cada una de las temperaturas experimentales (11°, 14°, 17°, 20°, 23°, 26° y 29°C). Para ello los organismos fueron aclimatados, como se describió anteriormente y se determinó el PC en cada temperatura. Para determinarlo, fue necesario estimar las tasas fisiológicas implicadas en la ecuación de balance energético según Ilevlev (1939): Tasa de Ingestión (TI), Tasa de Excreción de heces (TH), Tasa de Excreción de desechos nitrogenados (TE) y Tasa Respiratoria (TR).

$$PC = TI - (TH + TE + TR) \quad (2)$$

Donde:

PC= Crecimiento Potencial

TI=Tasa de Ingestión o Tasa de Ingesta

TH= Energía no absorbida perdida en heces

TE= Tasa de excreción de compuestos nitrogenados

TR= Tasa respiratoria

En el presente trabajo se utilizó la modificación de la fórmula de PC propuesta por Warren y Davis (1967).

$$PC = TA - [TR + TE] \quad (3)$$

Donde:

PC= Potencial de crecimiento

TA= Tasa de absorción

TR= Tasa respiratoria

TE= Tasa de expresión

Esta modificación utiliza el método de Conover (1966), donde se asume que solo la fracción orgánica del alimento que es ingerido por el organismo es absorbido por la pared del tubo digestivo. Mientras que la materia inorgánica es eliminada en las heces. Por lo tanto, el método se basa en estimar la Eficiencia de Absorción (%) a partir del cambio de proporciones de materia orgánica: inorgánica del alimento y materia orgánica: inorgánica en las heces.

Para estimar las tasas fisiológicas, fueron incubados 20 organismos de forma individual de la manera descrita anteriormente. Las tasas fisiológicas fueron estandarizadas a unidades de peso seco de tejido por unidad de tiempo y convertidas a su equivalente energético ( $\text{Joules} \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ ) para integrarse en la ecuación de balance energético.

## 6.6 Tasa de ingestión

La tasa de ingestión (TI) se determinó administrando a los organismos alimento durante 12 h. En base a los resultados de horario de actividad, los pellets se colocaron a

las 21:00 h y la alimentación fue *ad libitum*. La cantidad de alimento ofertado se basó en las observaciones hechas durante la aclimatación, siendo un promedio de  $0.23 \text{ g}\cdot\text{organismo}^{-1}$  para la mayoría de las temperaturas experimentales a excepción de los  $11^\circ\text{C}$ , donde se les suministró  $\approx 0.14 \text{ g}\cdot\text{organismo}^{-1}$ .

Antes de cada bioensayo 20 organismos fueron ayunados previamente durante 24 h en las cámaras de incubación con agua marina filtrada a  $5 \mu\text{m}$ , aireación y tapados con una malla. Igual que en la determinación de la tasa respiratoria, las cámaras fueron colocadas en los tanques del controlador de temperatura (Figura 4). En cada tanque se colocaron termógrafos para el registro continuo de la temperatura durante el experimento. Antes de colocar el alimento se realizó un recambio de agua, manteniendo un volumen de 400 mL y posteriormente se alimentaron con pellets previamente pesados. El alimento no consumido se retiró a las 12 h después de haberlos alimentado y se colocó en charolas de aluminio previamente pesadas. Las muestras se colocaron en una estufa a  $65^\circ\text{C}$  por 48 h para determinar su peso seco y una vez obtenido se llevaron a peso constante. Para determinar el peso seco libre de cenizas, fueron incinerados a  $450^\circ\text{C}$  por 12 horas. La TI se estimó de la siguiente manera:

$$TI = \frac{Ao - An}{\text{tiempo} \times \text{Peso seco}} \quad (4)$$

Donde:

TI= Tasa de ingestión (g de alimento  $\cdot$  g Ps de tejido  $\cdot$  día $^{-1}$ )

Ao= Alimento ofertado (g de alimento)

An= Alimento no ingerido (g de alimento)

t= Tiempo (día)

Ps= Peso seco de alimento (g Ps de tejido)

La TI fue convertida de acuerdo al contenido calórico del alimento, tomando en cuenta que un Joule es equivalente a 4.16 calorías, por lo anterior el pellet proporcionado contiene  $4,231.72 \text{ cal}\cdot\text{g}^{-1}$

## 6.7 Eficiencia de Absorción

La Eficiencia de Absorción (EA), se estimó utilizando el método Conover (1966) descrito anteriormente. Para ello fue necesario coleccionar las heces de cada organismo, 36 h después de haber retirado el alimento de la cámara. Las heces coleccionadas fueron concentradas en filtros de fibra de vidrio de 1  $\mu\text{m}$ , fueron lavadas con una solución de formiato de amonio al 3% para eliminar las sales de sodio y posteriormente fueron llevadas a peso constante para obtener el contenido de materia orgánica e inorgánica.

Los filtros se colocaron en una estufa a 65°C por 48 h para determinar su peso seco y se llevaron a peso constante. Para determinar el peso seco libre de cenizas, los filtros fueron incinerados a 450°C por 12 horas.

La EA se calculó mediante la fórmula:

$$EA = \frac{(F-E)}{(1-E) \times F} \quad (5)$$

Donde:

$$F = \frac{\text{Contenido de material orgánico del alimento}}{\text{Peso total del alimento}}$$

$$E = \frac{\text{Contenido de material orgánico de las heces}}{\text{Peso total de las heces}}$$

## 6.8 Tasa de Absorción

La tasa de absorción se estimó por medio de la siguiente ecuación:

$$TA = TI \times EA \quad (6)$$

Donde:

TI= Tasa de Ingestión expresada en (g de alimento  $\cdot$  g Ps de tejido  $\cdot$  día<sup>-1</sup>)

EA= Eficiencia de Absorción

La TA fue convertida en unidades energéticas (J  $\cdot$  g<sup>-1</sup>  $\cdot$  h<sup>-1</sup>) de acuerdo al contenido calórico del alimento.

### 6.9 Tasa de Excreción de Amonio

La Tasa de Excreción de Amonio (TE) se determinó utilizando el método de Solórzano (1967), mediante un autoanalizador de iones LCHAT instruments, QuickChem 8500 serie 2. Para determinar la excreción se colectaron muestras de agua antes del periodo de alimentación y 12 h después de haber iniciado la alimentación. Las muestras se colectaron en tubos falcon de 45 mL en los periodos mencionados. Todas las muestras fueron preservadas a -20°C hasta su posterior análisis.

La TE se calculó mediante la ecuación: 
$$TE = \frac{(E_o - E_b)}{\text{tiempo} \times \text{Peso seco}} \times \text{Volumen} \quad (7)$$

Donde:

TE = Tasa de excreción  $\mu\text{gNH}_4 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$

E<sub>o</sub> = Concentración de amonio en la cámara con organismos ( $\mu\text{gNH}_4/\text{mL}$ )

E<sub>b</sub> = Concentración de amonio en la cámara blanco ( $\mu\text{gNH}_4/\text{mL}$ )

V = Volumen de agua (mL)

t = Tiempo de concentración de la muestra (h)

PS = Peso seco del tejido de los organismos incubados (g)

Los valores de excreción de amonio fueron convertidos a unidades energéticas utilizando el equivalente energético de  $7.37 \times 10^{-3}$  Joules por  $\mu\text{gNH}_4$  (Logan y Epifanio, 1978).

### 6.10 Tasa respiratoria

La Tasa Respiratoria (TR) se determinó midiendo el consumo de oxígeno de manera individual por unidad de tiempo y estandarizando a peso de tejido seco. La TR se determinó a lo largo de 24 h cada 4 h, de acuerdo a lo descrito en la determinación de la actividad (A). Para estimar el PC en cada temperatura se promediaron las TR observados a lo largo de un periodo de 24 h, para obtener la TR diaria.

Los resultados fueron convertidos a valores energéticos, donde un mL de O<sub>2</sub> es equivalente a 20.2 Joules (Elliot y Davison, 1975).

### 6.11 Modelos para Potencial de Crecimiento

A los datos de PC a las diferentes temperaturas se les aplicaron diversos modelos por medio de un paquete comercial (CurveExpert 1.3). El mejor modelo se identificó en base a los valores de bondad de ajuste.

### 6.12 Peso seco de tejido

El peso de tejido seco (Ps) para cada bioensayo se obtuvo sacrificando 5 abulones por cada temperatura experimental. Se determinó el peso húmedo total, el peso de la concha, peso húmedo de tejido y las medidas de la concha (longitud total, alto y ancho), los tejidos fueron preservados a  $-80^{\circ}\text{C}$  en un ultra congelador para posteriormente ser liofilizados y pesados nuevamente. Con estos datos se estimaron los valores de Ps para los demás organismos.

### 6.13 Termotolerancia

La termotolerancia fue estimada usando el método de temperatura letal incipiente (TLi) y la Temperatura Crítica Máxima (CTMax) y Mínima (CTMín). A partir de los  $20^{\circ}\text{C}$  a un grupo de 15 organismos se les incrementó y disminuyó paulatinamente su temperatura en  $1^{\circ}\text{C} \cdot \text{día}^{-1}$ . Los organismos se mantuvieron en cámaras abiertas bajo el mismo sistema que durante el periodo de aclimatación. Diariamente se observaron y registraron los cambios en alimentación, actividad y mortalidad. Una vez que se comenzó a observar mortalidad, se registró la temperatura y cinco organismos se regresaron bajo el mismo esquema  $1^{\circ}\text{C} \cdot \text{día}^{-1}$  a la temperatura más baja o más alta según el caso, donde no se observó mortalidad con el fin de evaluar la capacidad de recuperación.

### 6.14 Contenido bioquímico

El contenido bioquímico de los organismos fue determinado para cada temperatura. Al final de cada bioensayo posterior a las determinaciones de peso seco, se determinó el contenido de carbohidratos, proteínas y lípidos totales para cada organismo,

midiendo la absorbancia de las muestras en un espectrofotómetro de microplacas (Termo Multiskan spectrum) a diferentes longitudes de onda según el caso.

Para las determinaciones se utilizó la siguiente relación:

$$\text{Concentración (mg}\cdot\text{g}^{-1}) = \frac{\text{Absorbancia medida} \times \text{Factor de dilución}}{\text{Pendiente de la curva} \times \text{Peso de la muestra}} \quad (8)$$

#### 6.14.1 Carbohidratos totales

La determinación de carbohidratos totales se realizó usando el método de Roe *et al.*, (1961). Este método se basa en hidrolizar los enlaces glucosídicos de los polisacáridos y disacáridos con ácido sulfúrico, para convertirlos en monosacáridos, los cuales reaccionan con Antrona para dar como resultado una solución verde, cuya intensidad dependerá de la cantidad de carbohidratos presentes en la muestra.

Para hacer el análisis, se tomaron 0.1 mL de la muestra ya homogenizada y se mezcló con 0.1 mL de ácido tricloroacético (TCA) al 20%, para precipitar las proteínas presentes en la muestra, que pueden interferir en la lectura de carbohidratos, después de la centrifugación (3600 rpm por 10 minutos a 4°C) las proteínas se precipitan. Se tomó muestras del sobrenadante, el cual se colocó en una placa Elisa. Posteriormente se adicionó 1 mL de Antrona 0.1% diluida en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 72%. Se calentó la muestra a baño María a 90°C durante 10 minutos y se enfriaron en baño de hielo por 5 minutos. Posteriormente se leyó su absorbancia en un espectrofotómetro a 620 nm.

La solución estándar de carbohidratos, fue de dextrosa a partir de diferentes diluciones en proporción 1:1 en 500 µL de TCA. Las concentraciones utilizadas fueron: 5, 2.5, 1.25, 0.625, 0.313, 0.156, 0.078, utilizando agua destilada como blanco.

#### 6.14.2 Proteínas Totales

La determinación de proteínas totales se realizó usando la técnica del ácido bicinonínico o BCA (Fujimoto *et al.*, 1985). Este método se basa en que las proteínas

reducen los iones cúpricos a iones cuprosos bajo condiciones alcalinas. Los iones cuprosos reaccionan con el ácido bicinconínico, sal sódica para formar una solución de color morado, la cual es proporcional al contenido de proteínas en la muestra.

Para la preparación del reactivo bicinconínico, se utilizaron soluciones reactivas comerciales, tanto para el BCA como para el sulfato de cobre. Se tomaron alícuotas de 10  $\mu\text{L}$  del tejido las cuales se colocaron en 100  $\mu\text{L}$  de hidróxido de sodio (NaOH) 0.1N durante dos horas. Se tomaron 10  $\mu\text{L}$  de la muestra digerida para colocarla en el fondo de una microplaca, a la cual se le agregó el reactivo preparado de BCA, se incubó a 60°C durante 15 minutos, posteriormente se leyó en un espectrofotómetro de placas a una absorbancia de 595 nm.

Se calculó la concentración absoluta de proteínas ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) con la pendiente de la curva tipo a partir de un estándar con concentraciones conocidas, la solución estándar se preparó con  $2\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$  de albumina bovina, la cual se diluyó en solución salina hasta tener concentraciones de 2, 1, 0.5, 0.25, 0.125, 0.0625, 0.03125  $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$  de proteína. Se utilizó la solución salina como solución blanco. Se realizó la lectura de las muestras en un espectrofotómetro de placas y se construyó la curva tipo para realizar el cálculo de la concentración de proteínas ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ).

#### *6.14.3 Lípidos Totales*

La determinación de lípidos totales se realizó con el método de sulfafosfovainillina (Barnes y Blackstock, 1973). Este método se basa en la reacción de los lípidos con el reactivo fosfovainillina y el ácido sulfúrico, del cual se obtiene un complejo color rosa, donde la intensidad de éste es proporcional a la concentración de lípidos. Se tomó una alícuota de 0.025 mL de cada muestra homogeneizada y se colocaron en tubos de 2.5 mL a los cuales se les agregó 0.25 mL de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) concentrado, se agitó e incubó a baño María a 90°C por 10 minutos. Posteriormente los tubos fueron enfriados en baño de hielo y las muestras (0.02 mL) fueron colocadas en la microplaca (placa Elisa), después

se agregó la solución reactiva para lípidos (fosfovainillina al 0.2% y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 80%), se dejó en incubación por 40 minutos a temperatura ambiente y se leyó en un espectrofotómetro a una absorbancia de 540 nm.

Para la lectura de la concentración, fue necesario hacer una curva tipo o estándar de lípidos, preparada con una solución estándar (Lin-Trol Sigma L2648) con 20 mg·mL<sup>-1</sup>, de la cual se prepararon diluciones de 1 mL de solución salina (10, 5, 2.5, 1.25, 0.625, 0.3125, 0.15625 mg·mL<sup>-1</sup>) utilizando solución salina como blanco.

#### 6.15 Caracterización térmica

La caracterización térmica de Bahía Tortugas, B.C.S. se realizó a partir de registros térmicos de alta frecuencia obtenidos de este sitio entre Agosto del 2012 y Septiembre del 2013. Los registros fueron obtenidos a partir de una boya oceanográfica colocada en la zona (Anexo I) y la cual está programada para registrar la temperatura cada 30 minutos. Con los registros obtenidos se obtuvo la gráfica de distribución de frecuencias, la temperatura máxima, mínima, los promedios mensuales para obtener el mes más cálido y el mes más frío.

#### 6.16 Análisis Estadísticos

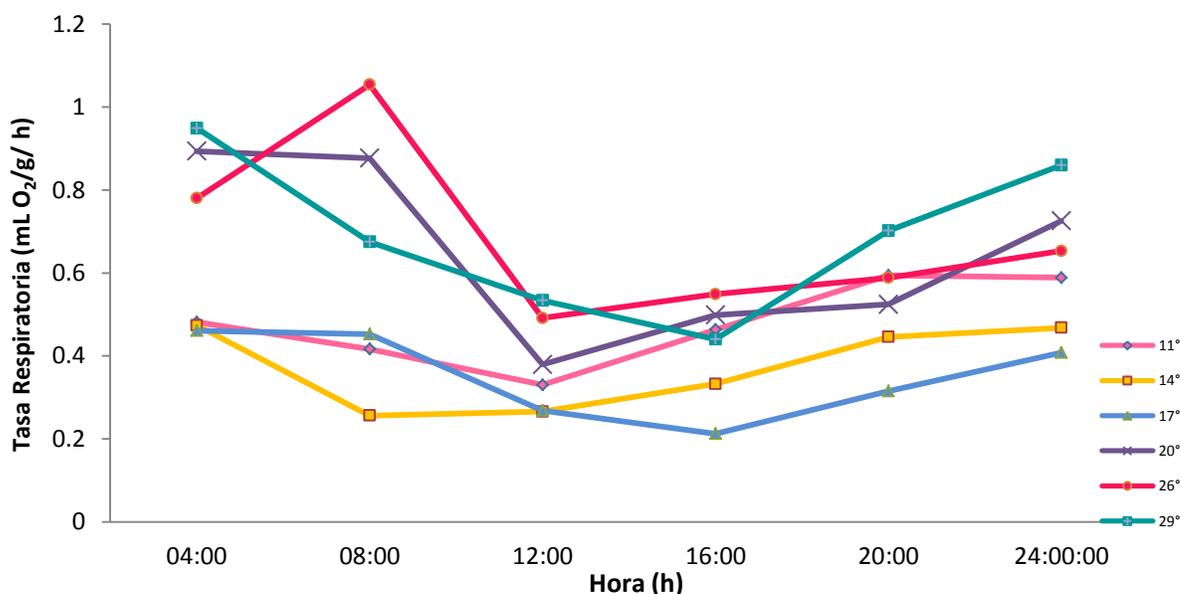
La información obtenida fue analizada haciendo análisis de varianza de una vía y dos vías (ANOVA) al 95% de confianza, usando como variable independiente los tratamientos térmicos y como variable dependiente cada una de las tasas fisiológicas. En caso de existir diferencias significativas, los datos fueron sometidos a una prueba *a posteriori* de Tukey para mostrar las diferencias.

En el caso del contenido bioquímico los resultados se sometieron a una prueba *a posteriori* de LSD.

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Actividad de los Organismos y Tasa Respiratoria

La Actividad de juveniles de abulón azul (A) a lo largo del día y a diferentes temperaturas de aclimatación, se observa en la Figura 6. Como se muestra la A fue evaluada por medio de la TR, siendo los periodos de mayor actividad aquellos que muestran valores más altos de TR. En términos generales se observa que la A de los organismos se incrementa a partir de las 20:00 h y disminuye a partir de las 8:00 h. El análisis estadístico mostró diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre temperaturas y entre horas (todas la tablas con promedios y estadísticos se encuentran en anexo III). En términos generales las temperaturas de 20°, 26° y 29°C mostraron TR más altas y en las temperaturas de 17°, 14° y 11°C, TR menores. Se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre horas, siendo el horario nocturno (20:00, 24:00; 4:00 y 8:00h) diferente al horario diurno (12:00 y 16:00h). La Tabla I, muestra los resultados de la TR promedio observada en el horario nocturno la cual representa el 58.9% siendo 17.7% mayor que el horario diurno con 41.1%

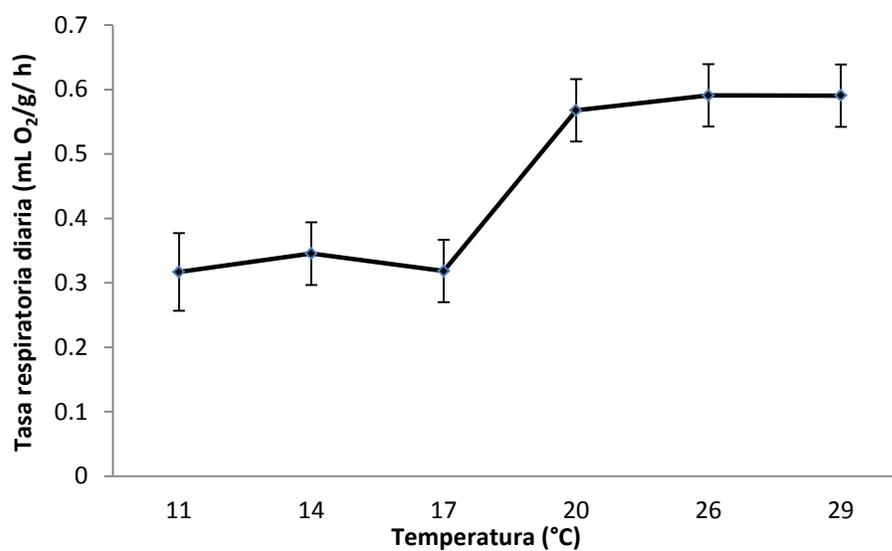


**Figura 6.** Tasa respiratoria ( $\text{mL O}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) de juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*) en las diferentes temperaturas de aclimatación, a lo largo de un día con intervalos de cuatro horas.

Tabla I: Tasa respiratoria diurna-nocturna de juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*)

Tasa Respiratoria diurna-nocturna (mL O <sub>2</sub> /g/ h)			
	Promedio	Desviación	porcentaje
Día	0.3961	0.0143	41.1434
Noche	0.5667	0.0448	58.8566
Diferencia			17.7132

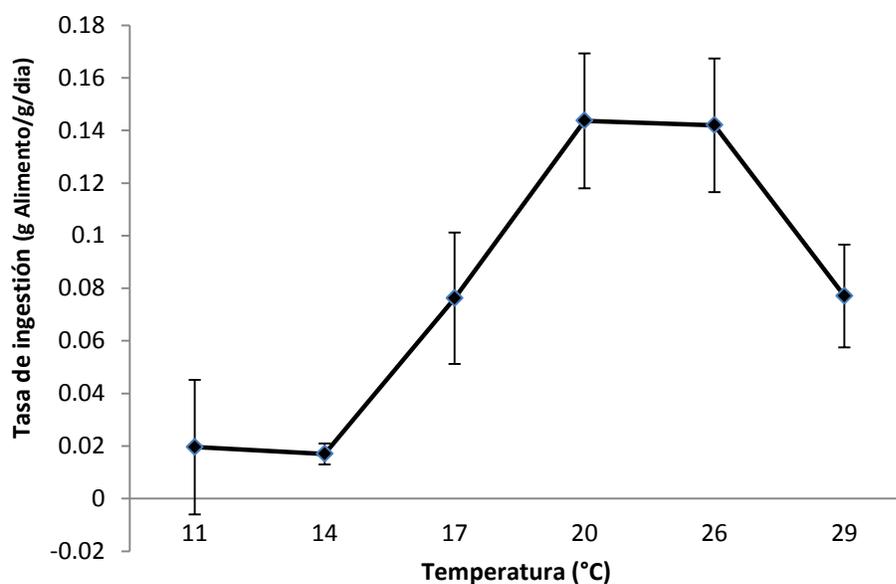
El promedio de la TR de los juveniles de abulón azul a lo largo del día para cada temperatura de aclimatación se representa en la Figura 7. Se observa que los mayores valores de TR se presentaron en las temperaturas de 20°, 26° y 29°C, sin diferencias significativas entre sí ( $P>0.05$ ). Mientras que los valores menores de TR se presentaron a las temperaturas de 11°, 14° y 17°C, e iguales estadísticamente entre sí ( $P>0.05$ ). Sin embargo si se presentaron diferencias entre las temperaturas mayores con respecto a las menores ( $P<0.05$ ).



**Figura 7.** Tasa respiratoria diaria de juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*) en las diferentes temperaturas de aclimatación.

## 7.2 Tasa de ingestión

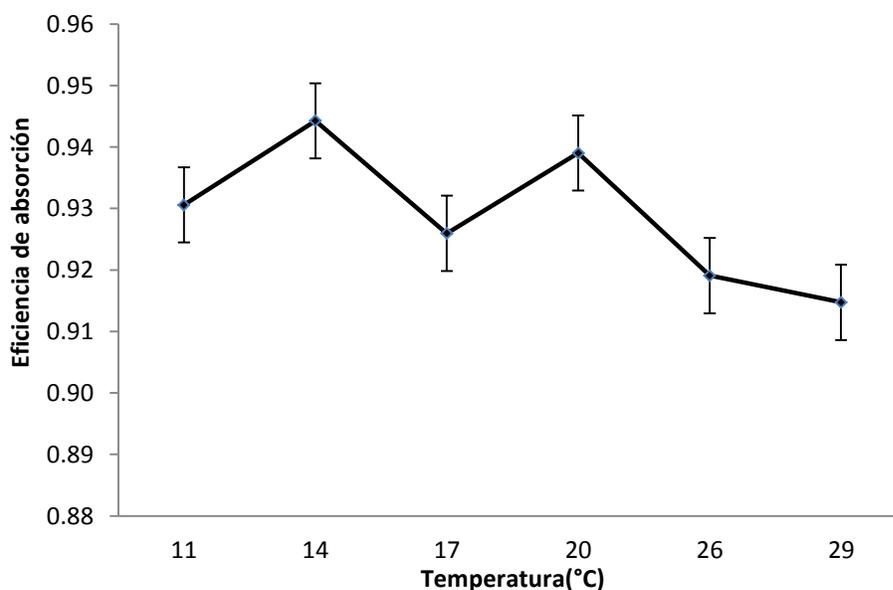
La Figura 8 muestra la tasa de ingestión (TI) obtenida para los juveniles de abulón azul mantenidos a diferentes temperaturas de aclimatación. Se observó que los organismos mantenidos a temperaturas más bajas 11° y 14°C presentan las TI menores, aunque estadísticamente iguales entre sí y significativamente diferentes al resto de las temperaturas ( $P < 0.05$ ). Las temperaturas de 17°C mostró un incremento en su TI en relación a las temperaturas de 11° y 14°C y sólo mostró ser estadísticamente igual a los valores de TI obtenidos para 29°C ( $P > 0.05$ ). Las tasas de ingestión más altas se obtuvieron en las temperaturas de 20° y 26°C, las cuales no muestran diferencias significativas entre sí ( $P > 0.05$ ). Los organismos expuestos a 29°C mostraron una disminución en su TI con respecto a los organismos de 20° y 26°C ( $P < 0.05$ ), y mostrando valores similares, como se mencionó anteriormente a los abulones mantenidos a 17°C ( $P > 0.05$ ).



**Figura 8.** Tasa de ingestión obtenida para los juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*) en las diferentes temperaturas de aclimatación.

### 7.3 Eficiencia de absorción

En la Figura 9 se observan los resultados obtenidos de Eficiencia de Absorción (EA) de juveniles de abulón azul aclimatados a diferentes temperaturas. Puede observarse una ligera tendencia de la EA a disminuir a partir de los 20°. Los valores de EA obtenidos en el presente trabajo fueron altos (91-94%) y manteniendo valores similares entre las temperaturas de aclimatación. Los valores mayores de EA se observaron en la temperatura de 14°C que presentó diferencias significativas respecto a los valores obtenidos para las temperaturas de 26° y 29°C ( $P<0.05$ ). Entre el resto de las temperaturas no se observaron diferencias significativas ( $P>0.05$ ).

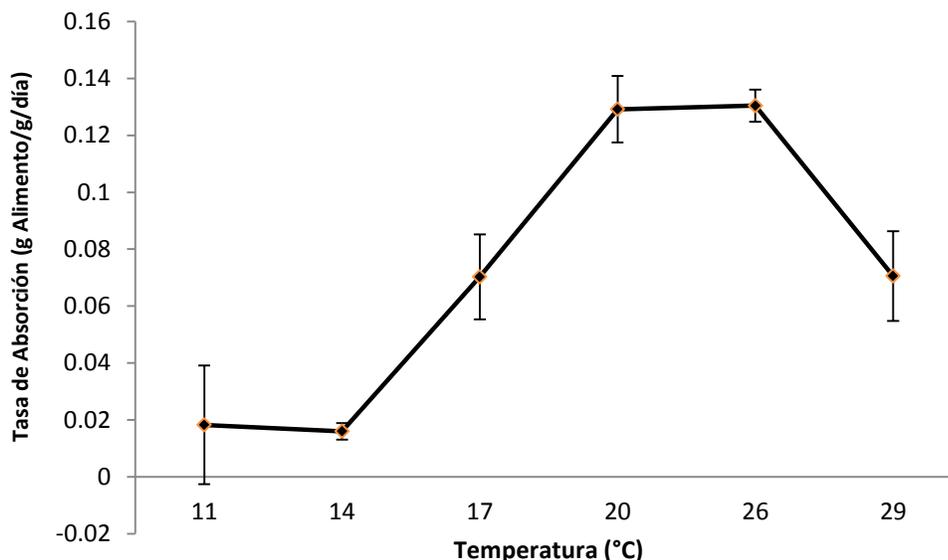


**Figura 9.** Eficiencia de absorción de juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*) a diferentes temperaturas de aclimatación.

### 7.4 Tasa de absorción

Los valores obtenidos de Tasa de Absorción (TA) a diferentes temperaturas de aclimatación se observan en la Figura 10. Se observa que el comportamiento de los datos es muy similar a lo observado para TI, presentando diferencias significativas entre las

temperaturas ( $P < 0.05$ ). La mayor TA se observó entre organismos mantenidos a 20° y 26°C sin diferencias significativas entre sí ( $P > 0.05$ ) y los menores valores se observaron a 11° y 14°C, también sin diferencias significativas entre sí ( $P > 0.05$ ). Valores intermedios se presentaron a las temperaturas de 17° y 29°C, siendo estadísticamente iguales ( $P > 0.05$ ).

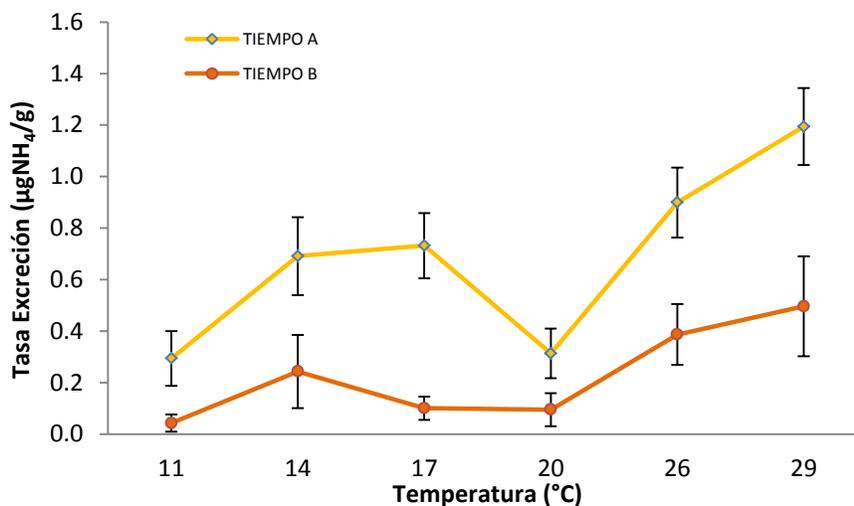


**Figura 10.** Tasa de absorción de juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*), a diferentes temperaturas de aclimatación.

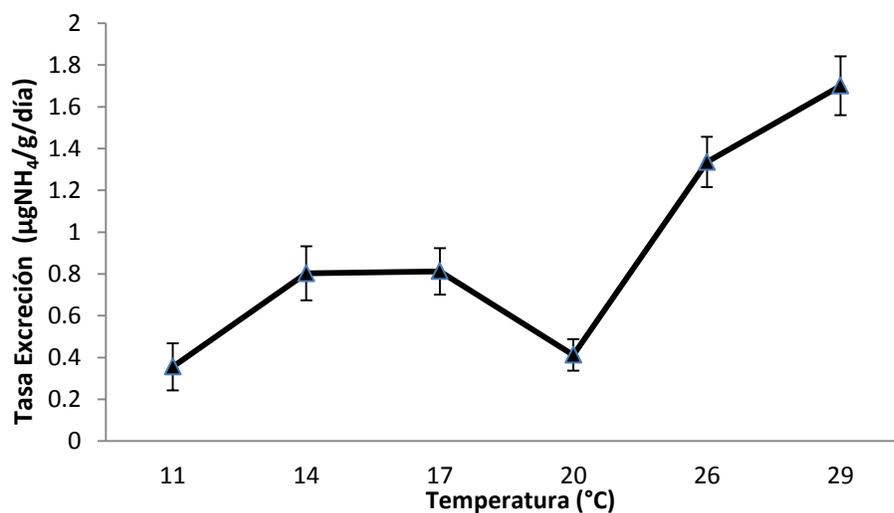
### 7.5 Tasa de Excreción de Amonio

La Figura 11 representa la Tasa de Excreción de Amonio (TE) de los organismos juveniles de abulón azul en tiempo A y tiempo B después del periodo de ingestión. Se observa que la TE fue mayor en el tiempo A, siendo significativamente mayor ( $P < 0.05$ ). Se mostró una tendencia general a incrementar en relación a la temperatura en ambos casos excepto a 20°C en el tiempo A, donde se encontró una notable disminución con respecto a las demás temperaturas. El análisis estadístico mostró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) con los organismos expuestos a 14°, 17°, 26° y 29°C. Las mayores tasas de excreción se obtuvieron en los organismos mantenidos a temperaturas más altas (26° y 29°C) y el análisis mostró diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre estas temperaturas. Los organismos de 14° y 17°C mostraron tasas de excreción mayores con respecto a los de 20° ( $P > 0.05$ ), pero mucho menores que los de temperaturas cálidas (26° y 29°) ( $P < 0.05$ ).

La Figura 12 presenta los valores de TE diarios obtenidos para juveniles de abulón azul aclimatados a las diferentes temperaturas. De manera general los valores de TE diaria muestran una relación con la temperatura, excepto por el valor de TE a 20°C. Presentaron valores estadísticos iguales entre 11° y 20°C, 14 y 17°C y, 26 y 29°C ( $P>0.05$ ) y diferentes entre ellos ( $P<0.05$ ).



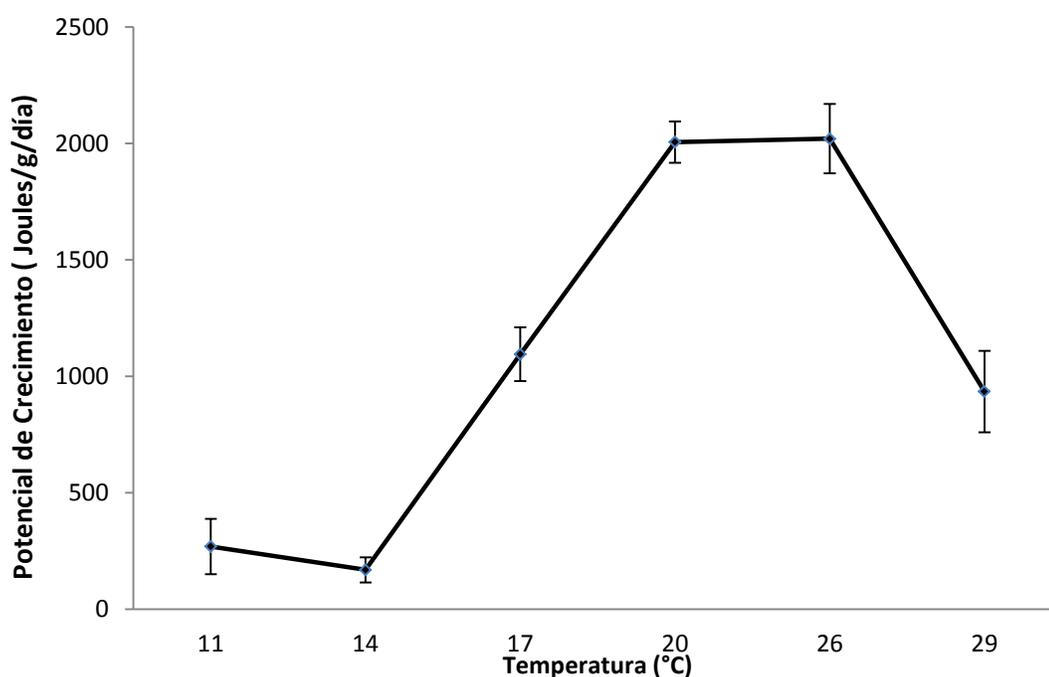
**Figura 11.** Tasa de excreción de amonio de juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*) a las diferentes temperaturas de aclimatación. Tiempo A y Tiempo B.



**Figura 12.** Tasa de excreción de amonio de juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*) en las diferentes temperaturas de aclimatación.

## 7.6 Potencial de Crecimiento

Los valores de Potencial de Crecimiento de juveniles de abulón azul en relación a la temperatura se presentan en la Figura 13. Se observa una tendencia igual a la observada para TI y TA en forma de campana o curva normal. Los valores menores de PC correspondieron a las temperaturas más frías (11° y 14°C) y mayor a 17°C ( $P<0.05$ ), donde los organismos aumentaron un 30% su PC. Los valores mayores de PC fueron en 20° y 26°C siendo significativamente iguales entre sí ( $P>0.05$ ), pero diferentes a las demás temperaturas ( $P<0.05$ ). Los organismos mantenidos a 29°C, disminuyeron su PC en 57% siendo estadísticamente distintos a las demás temperaturas excepto a los 17°C ( $P<0.05$ ).



**Figura 13.** Potencial de crecimiento ( $\text{Joules} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ ) de juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*) en las diferentes temperaturas de aclimatación.

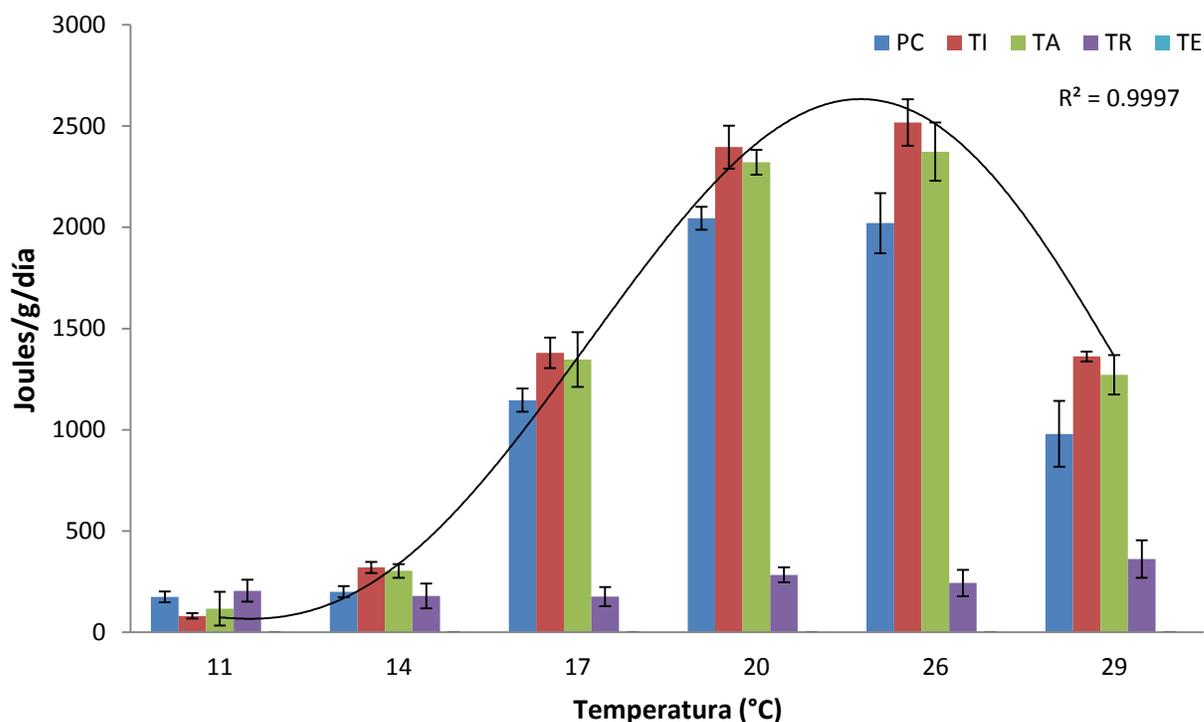
Se identificaron tres modelos que representaron mejor la tendencia encontrada en PC, esto en base a los valores de bondad de ajuste. Se determinaron tres modelos, representando las mejores opciones: el polinomial de cuarto grado ( $r=0.9869$ ), una curva

gaussiano ( $r=0.9784$ ) y una función racional ( $r=0.9553$ ) (Tabla II). Para obtener el punto óptimo de PC, se decidió usar el modelo polinomial de cuarto grado, teniendo un PC óptimo de 23°C.

Tabla II. Modelos para estimar la temperatura optima de crecimiento de juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*) en las diferentes temperaturas de aclimatación. Señalando los valores de cada variable y la ecuación de cada modelo.

Modelos para estimar Potencial de crecimiento			
	Polinomio 4	Gaussian	Función racional
Temp del máximo	23.0	22.9	22.2
Valor Y	2410.940941	2574.834165	2543.477127
R	0.9869	0.9784	0.9553
Fórmula	$y=a+bx+cx^2+dx^3+ex^4$	$y=a*\exp(-(b-x)^2)/(2*c^2))$	$y=(a+bx)/(1+cx+dx^2)$
a	3.34E+04	2.57E+03	-9.70E+01
b	-7.27E+03	2.29E+01	1.07E+01
c	5.50E+02	4.31E+00	-8.93E-02
d	-1.68E+01		2.10E-03
e	1.78E-01		

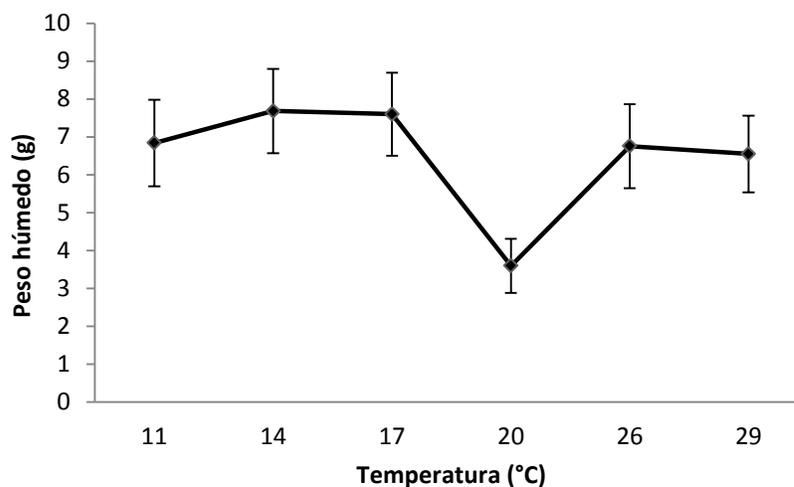
La Figura 14 muestra el resultado de todas las tasas fisiológicas y el potencial de crecimiento obtenidos en cada temperatura, permitiendo ver el patrón general. La línea de tendencia señala el comportamiento tipo distribución normal que siguen todas las tasas involucradas en el balance energético. Puede observarse que tanto las tasas como el potencial de crecimiento se ven influenciados por la temperatura, aumentando conforme incrementa la temperatura, excepto a 29°C donde ocurre una disminución. En dicha grafica puede observarse que el punto máximo para todas las tasas fisiológicas calculadas y el PC se encuentra entre 20-26°C.



**Figura 14.** Tasas fisiológicas y Potencial de crecimiento en unidades energéticas (Joules·g<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup>)

### 7.7 Peso húmedo

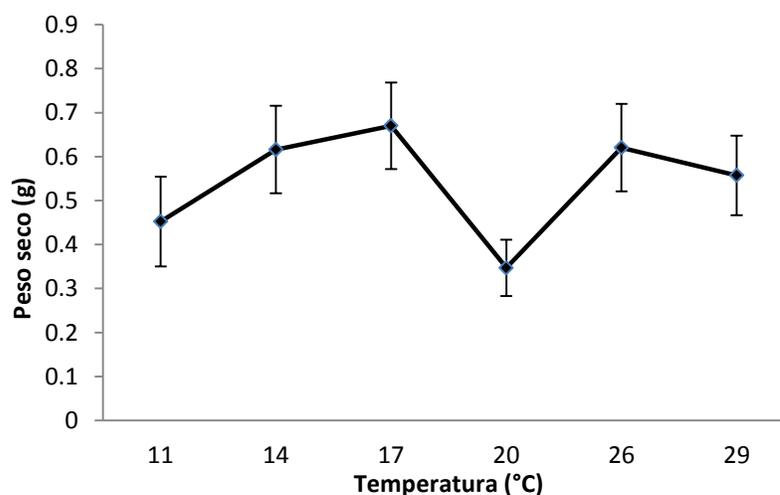
Los resultados de peso húmedo obtenidos a cada temperatura de aclimatación se indican en la Figura 15. Se puede observar que el peso húmedo de los organismos de 20°C presentaron el menor peso húmedo con diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en relación al resto de las temperaturas. En las temperaturas bajas se observó una tendencia a mayores incrementos de peso, particularmente en 14° y 17°C, en comparación con las temperaturas mayores de 26° y 29°C. Los organismos mantenidos a 11°C disminuyeron su peso en relación a los de 14° y 17°C, mostrando valores similares a los de 26° y 29°C, sin embargo, no se presentaron diferencias significativas entre ninguna de estas temperaturas ( $P > 0.05$ ).



**Figura 15.** Peso húmedo (g) de juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*) obtenido a diferentes temperaturas de aclimatación.

### 7.8 Peso seco

Los resultados de peso de tejido seco para cada temperatura de aclimatación se muestran en la Figura 16. Se observa que los pesos secos se comportaron de forma similar al peso húmedo. Los organismos de 20°C presentaron diferencias significativas en relación al resto de las temperaturas. El mayor incremento en peso lo tuvieron las temperaturas de 17° y 14°C, pero sin diferencias significativas en relación a los organismos de 26° y 29°C ( $P > 0.05$ ). En el caso de los organismos a 11°C la disminución en peso fue más evidente, mostrando diferencias significativas con el resto de las temperaturas ( $P < 0.05$ ).



**Figura 16.** Peso seco (g) de juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*) obtenido a diferentes temperaturas de aclimatación.

## 7.9 Termotolerancia

### 7.9.1 Temperatura Letal Incipiente

En la determinación de TLi superior, se observó que a partir de los 33°C hubo mortalidad, sin embargo hasta los 35°C se registró el 50% de mortalidad. La capacidad de recuperación para el límite superior fue del 0% muriendo el resto de los organismos a los 32°C en el retorno. La CTMax y CTMín se observó a partir de los 31°C y no se observó hasta los 3°C. En las temperaturas inferiores no se presentó mortalidad, llegándose hasta los 3°C, el 100% de los organismos fueron capaces de recuperarse y regresar a la temperatura de la cual partieron (11°C), Tabla III.

Tabla III. Temperatura Letal incipiente y capacidad de recuperación de juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*).

Temperatura Letal incipiente				
Temperatura inicial (°C)	Temperatura Crítica Max y Mín (°C)	Inicia mortalidad (°C)	Temperatura Letal incipiente TLi(°C)	Capacidad de recuperación (%)
29°	31°	33°	35°	0%
11°	<3°	-	<3°	100%

## 7.10 Contenido bioquímico

Los resultados de contenido bioquímico están representados en la Figura 17, señalando la media y la desviación estándar a cada temperatura de aclimatación. Los análisis estadísticos *a posteriori* aplicando una prueba de LSD mostraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre algunas de las temperaturas.

### 7.10.1 Carbohidratos

Los resultados del contenido de carbohidratos (CHO) en los organismos juveniles de abulón azul se muestran en la Figura 17. Los valores no mostraron ninguna tendencia

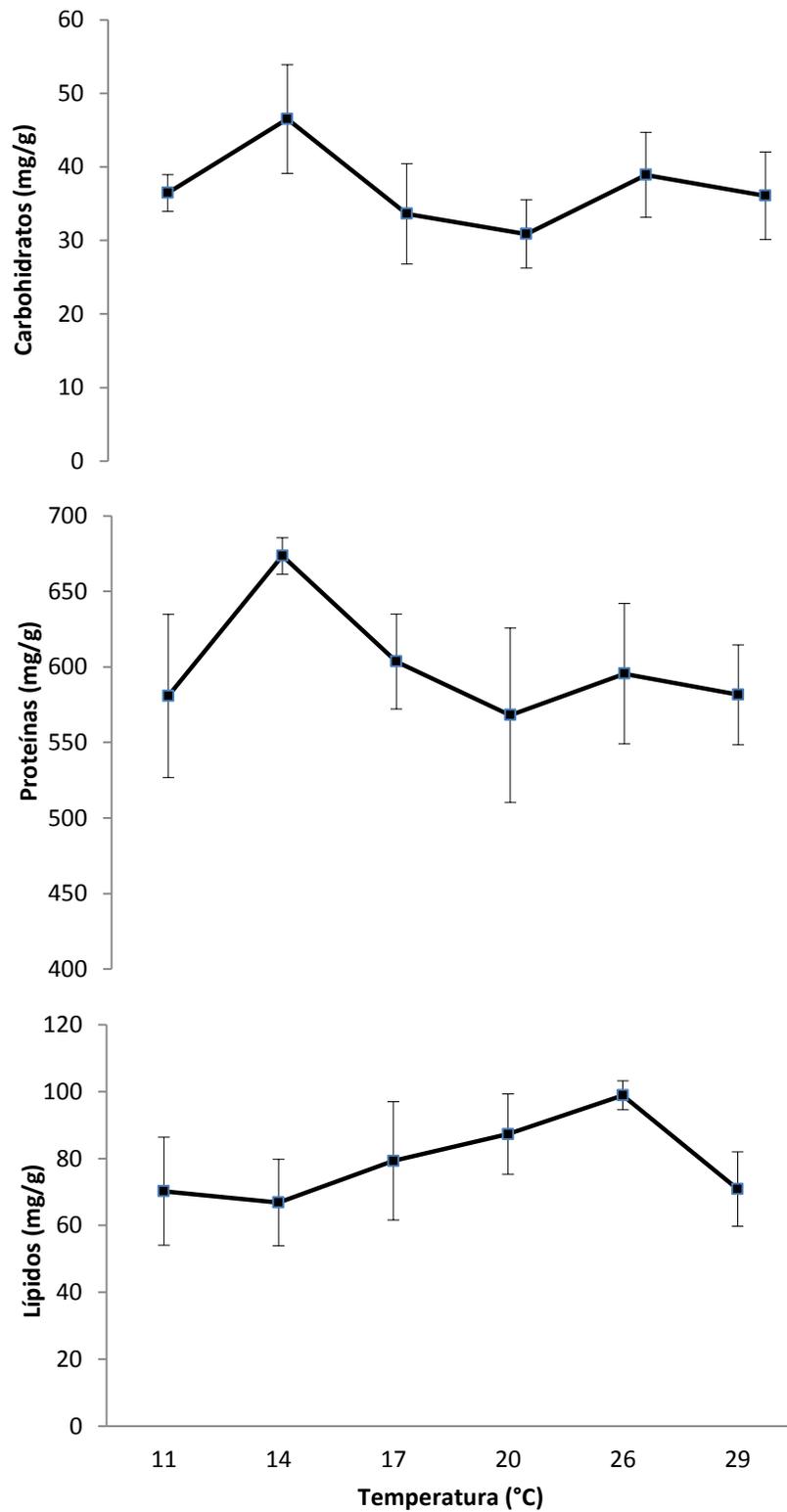
entre las temperaturas y los análisis no mostraron diferencias significativas ( $P>0.05$ ). La única diferencia significativa observada la presentaron los organismos mantenidos a 14°C un incremento de los CHOS con los abulones expuestos a 17°, 20° y 29° ( $P<0.05$ ).

#### 7.10.2 Proteínas

Los valores de proteínas (Pt) obtenidos para juveniles de abulón azul expuestos a diferentes temperaturas de aclimatación se representan en la Figura 17. Se observa un aumento en el contenido de Pt a temperaturas frías, aunque los análisis sólo mostraron diferencias significativas entre los valores 14°C con respecto a los organismos de 20° y 29°C ( $P<0.05$ ). El menor contenido de Pt fue el mostrado por los organismos expuestos a 29°C los cuales resultaron diferentes a 14° y 17° ( $P<0.05$ ). Se observó un incremento en el contenido de Pt en los organismos mantenidos a 26°C, sin embargo no se mostraron diferencias significativas ( $P>0.05$ ).

#### 7.10.3 Lípidos

Los valores de Lípidos (L) obtenidos para juveniles de abulón azul expuestos a diferentes temperaturas de aclimatación se observan en la Figura 17. Se puede observar una clara tendencia de los lípidos a aumentar en relación a la temperatura hasta cierto punto en el que la concentración baja posterior a los 26°C. Los organismos expuestos a 11°C muestran diferencias significativas con los abulones a 20° y 26°C ( $P<0.05$ ). El valor más alto de L se obtuvo a los 26°C, el cual es significativamente diferente de 11° y 14°C ( $P<0.05$ ). La concentración de L a 29°C no observa diferencias significativas con ninguna otra temperatura de aclimatación ( $P>0.05$ ).



**Figura 17.** Contenido bioquímico ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) de juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*) en las diferentes temperaturas de aclimatación. Señalando la media para cada temperatura y su desviación estándar.

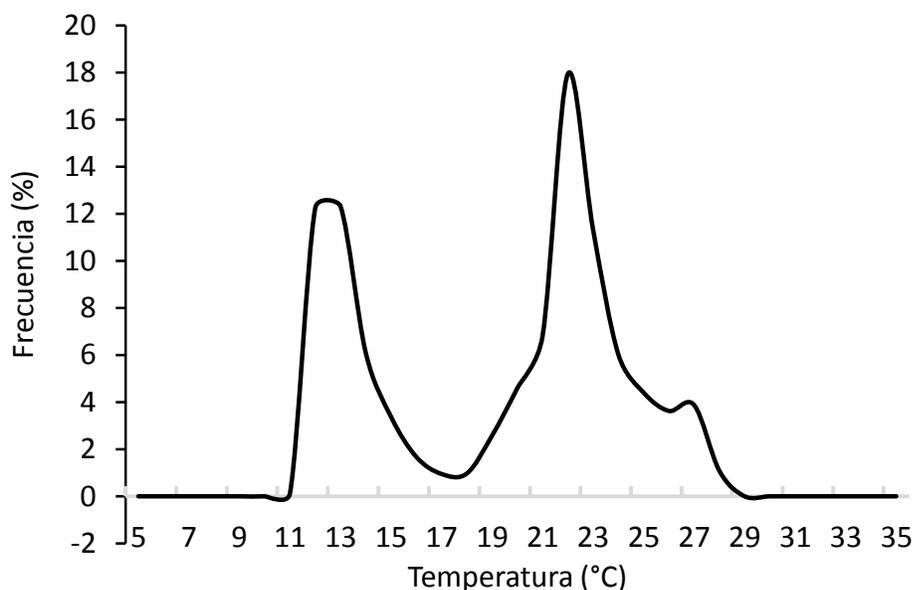
### 7.11 Caracterización térmica

Se obtuvo el intervalo térmico registrado en Bahía Tortugas (Tabla IV), variando desde los 10.9° hasta 27.5°C, con una temperatura promedio de 18.7°C. El mes más cálido es en Septiembre mientras el mes más frío es Junio.

La Figura 17 muestra distribución de frecuencias, donde se obtuvo que los 23°C es la temperatura más usual en el sitio, seguida por los 13°C

Tabla IV: Temperatura promedio, máxima y mínima registradas en Bahía Tortugas

Caracterización térmica	
Promedio	18.78 °C
Máxima	27.48°C
Mínima	10.92°C
Mes más cálido	Septiembre
Mes más frío	Junio
Amplitud	16.56



**Figura 18.** Gráfica de distribución de frecuencias obtenida a partir de registros de alta frecuencia entre Agosto del 2012 y Septiembre del 2013 de Bahía Tortugas, B.C.S.

## 8. DISCUSIÓN

Los abulones son organismos que presentan un marcado ciclo circadiano con un claro comportamiento nocturno (Barkai y Griffiths 1987; 1988). Sin embargo, Barkai y Griffiths (1987) McBride *et al.* (2001) y Ganmanee *et al.* (2010) no encontraron diferencias en la tasa respiratoria para corroborarlo, pero mencionan que la TR nocturna es 10% mayor a la diurna (Ganmanee *et al.*, 2010). Un comportamiento semejante se comprobó en el presente estudio, encontrándose un incremento en la tasa respiratoria del 17.7% con respecto al día, valor menor al reportado por Farías *et al.* (2003) de 23%.

Las altas tasas de ingesta observadas (Figura 8) en los organismos expuestos a las mayores temperaturas (a excepción de 29°C) están relacionadas con el alto costo energético que representa mantenerse a estas temperaturas, lo anterior corresponde con lo reportado por McBride y colaboradores (2001). Estos autores mencionan que la TI incrementa conforme se aumenta la temperatura, lo que permite a los organismos disponer de mayor energía que es utilizada para el mantenimiento de funciones debido al alto costo energético que representa mantenerse a temperaturas altas, a partir de los 20°C, demostrando que el costo energético aumenta. Los organismos expuestos a 29°C presentan una clara disminución en TI mientras su TR se mantiene alta, esto probablemente significa que deben de estar haciendo uso de reservas energéticas para mantenimiento de funciones, lo que corresponde con el bajo contenido de lípidos observados en la Figura 17. Bayne y Newell (1988) y Barkai y Griffiths (1988) mencionan que la TI está asociada a la TR, aumentando el consumo de oxígeno. Por lo que a mayores tasas de ingesta mayor será el oxígeno necesario para metabolizar el alimento e incorporarlo. Al contrario de lo que pasa a altas temperaturas, la TI en temperaturas frías es mucho menor, debido al bajo costo metabólico que representa. Los organismos disminuyen su metabolismo ya que tienen una menor demanda metabólica para mantenimiento.

Se encontraron valores de TI mayores a los reportados (Farías *et al.*, 2003) donde mencionan que organismos de aproximadamente 5 cm ingieren  $860 \text{ J}\cdot\text{dia}^{-1}$ , el presente estudio en general muestra valores más altos (excepto  $11^\circ\text{C}$  con  $347.16 \text{ J}\cdot\text{dia}^{-1}$  y  $14^\circ\text{C}$  con  $300.516 \text{ J}\cdot\text{dia}^{-1}$ ) y con organismos de menor tamaño, es posible que esto tenga que ver también con el rango de temperaturas usado en el presente trabajo.

Algunos autores mencionan que la TI es menor cuando se trata de dietas balanceadas, ya que estas cubren con poco alimento los requerimientos básicos para los organismos. En el presente estudio, se encontraron TI mayores a las reportadas por Farías *et al.* 2003, donde tallas similares a las utilizadas ingieren el 0.5% de su peso, la relación promedio encontrada en este estudio fue del 1.4%; pero menores a TI con dietas naturales Barkai y Griffiths (1987) del 11%, esto se explica debido a que las macroalgas tienen un bajo contenido calórico y requieren de mayor alimento para satisfacer todos los requerimientos energéticos.

Los resultados obtenidos en cuanto a EA muestran que el abulón azul son altamente eficientes a comparación con otros organismos como: camarón del 68-74% (Puente-Carreón, 2009), mano de león con 69-71% (Guzmán-Guadalupe, 2013). Se observó que la EA es independiente de la temperatura. Los porcentajes de eficiencia observados fueron mayores a los reportados por Farías y colaboradores (2003) y Yamasaki (1998) (89.3% y 84.9%), quienes además mencionan que las altas eficiencias mostradas por estos organismos explican las bajas tasas de ingestión. Para el presente estudio las EA observadas fueron de entre el 91-95%, es posible que estos valores expliquen las TI bajas, ya que no es necesario ingerir grandes cantidades de alimento si los organismos lo aprovechan al máximo. Los valores de EA bajo dietas balanceadas son mayores a los reportados para abulones alimentados con dietas naturales (ej. 37.25% Barkai y Griffiths, 1987).

La TA mostró una relación directa con la temperatura entre  $14^\circ\text{C}$  y  $26^\circ\text{C}$  y muy similar a la TI. Esto en gran medida se debe a que la TA es función directa que la TI y la EA,

por lo que es de esperarse que los resultados obtenidos sean muy semejantes o incluso iguales, sobre todo si se observó que la EA permaneció constante entre temperaturas. Recordando, si las mayores TI y TA se encuentran a temperaturas cálidas, se esperaría entonces que el óptimo de crecimiento este dentro de este rango, entre los 20° y 26°, ya que a los 29°C ya se observan disminuciones tanto en peso como en TI y TA.

Las bajas TE encontradas en los organismos de 20°C posiblemente se deben más al tamaño de los mismos o a la sensibilidad del método usado que al efecto de la temperatura. Se recomendaría ampliar el tiempo para la toma de muestras para obtener una mejor aproximación de la excreción total de amonio. En el presente estudio se observó un incremento de TE respecto a la temperatura, esto se explica debido a que el incremento en el metabolismo producirá mayores desechos nitrogenados (TE), ya que el amonio es el producto de desecho final del catabolismo de proteínas en los moluscos (Bayne y Newall, 1983). Sin embargo a pesar de estas observaciones, los valores de TE hallados convertidos a unidades energéticas y aplicados a la ecuación de balance energético representan solo un 0.0009%, demostrando que en este estudio, la TE no es de importancia para el cálculo del PC.

Por otra parte, las dietas comerciales no solo influyen en la TE sino también en la TR. El alto contenido calórico del alimento requiere de mayor energía para ser metabolizado e incorporado, de forma que la TR aumenta (McBride *et al.*, 2001; López y Tyler, 2006). Por lo anterior es de esperarse que la TR encontrada resulte mayor a las antes reportadas debido al uso de pellet, esto sin mencionar la interacción del alimento y la temperatura.

La TR diaria observada en este estudio se mantuvo constante a temperaturas bajas (entre 11°C y 17°C) y tuvo un incremento importante a temperaturas entre 20°C y 29°C. Se esperaría que se observara un incremento paulatino entre las temperaturas bajas y altas, sin embargo la TR diaria observada en los organismos de 20°C está en función de la diferencia observada en talla y no tanto a la temperatura de aclimatación. Se sabe que los

organismos de menor tamaño presentan tasas altas de consumo de oxígeno, posiblemente se deba a la relación superficie volumen, a mayor superficie se requiere mayor energía para mantener la temperatura. Dado que todos los organismos expuestos a temperaturas cálidas mostraron altos consumos de oxígeno se puede suponer que la TR a los 23°C sería similar a la de 26°C.

La disminución de peso en los organismos mantenidos a temperaturas cálidas, es un reflejo principalmente del alto costo metabólico, aun cuando la TI es mayor. Los valores obtenidos a los 20°C registran menor peso húmedo (Figura 15) debido a que los bioensayos no se hicieron simultáneamente, por el número reducido de organismos, por lo que todas las otras temperaturas de aclimatación partieron de los 20°C. El peso seco (Figura 16) de los organismos es un reflejo del peso húmedo, por consiguiente es lógico obtener resultados similares, la diferencia es que la pérdida de peso a los 11° y 29°C fue más evidente, siendo que los organismos de 11°C perdieron aproximadamente el 11% de su peso húmedo y el 26.6% de su peso seco; mientras que para 29°C hubo una pérdida del 3.03% en peso húmedo y del 10.1% de peso seco.

El PC representa un indicador que puede ser usado como un criterio para el establecimiento de un cultivo. Muchos autores mencionan que encontrar valores positivos de PC representa que los organismos se encuentran en buenas condiciones de cultivo (Yamasaki, 1998; Farías *et al.*, 2003; López y Tyler, 2006; Ganmanee *et al.*, 2010), sin embargo los valores positivos son relativos y es necesario comparar para indicar bajo qué condiciones el PC es más alto, debido a que los organismos son más eficientes. Por el contrario, valores menores de PC, indican menor eficiencia en los organismos para transformar la energía. En el presente estudio, bajo las distintas temperaturas de aclimatación, se obtuvo el valor más alto de PC a los 23°C y por lo tanto indica que a esta temperatura los organismos se desarrollan mejor. No se obtuvieron valores de PC negativos, es decir, bajo las temperaturas probadas aparentemente los organismos logran sobrevivir transformando positivamente la energía. Sin embargo, es posible que si los

bioensayos se prolongaran por varias semanas en las temperaturas extremas el PC hubiera sido negativo, aunado a esto, el alimento probablemente impidió que se encontraran valores negativos, permitiéndoles a los organismos mantenerse a temperaturas extremas. En estos casos los organismos hacen uso de reservas energéticas para mantener su metabolismo y si no hay un cambio eventualmente sobreviene la muerte (McBride *et al.*, 2001).

Leighton *et al.* (1981) mencionan que el intervalo óptimo para juveniles de *H. fulgens* se encuentra entre 22-28°C, mientras que Díaz *et al.* (2006) mencionan que el rango se encuentra entre los 24-28°. Con los resultados obtenidos en el presente estudio se puede concluir que este intervalo es diferente, según los datos de PC puede suponerse que se encuentra entre 20 y 26°C, temperaturas a las cuales se obtienen los mayores valores de crecimiento incluso podría suponerse que es mucho menor a los 26° dado que a esta temperatura la tendencia del potencial de crecimiento comienza a disminuir. La temperatura óptima de crecimiento (TOC) para esta misma especie pero diferente población es a los 23°C, en base a la tendencia de los datos observados.

McBride *et al.* (2001), mencionan que la TOC debe corresponder con el sitio de donde provienen los organismos, en el presente estudio, donde la TOC es a los 23°C; temperatura congruente con la zona, Bahía Tortugas donde se presenta un intervalo térmico de 11°-27°C, basado en registros de alta frecuencia en la zona reportados por el observatorio de mares y costas del CIBNOR (1).

Díaz *et al.* (2006), reportan para esta misma especie un valor de temperatura óptima 24.6°C cercano al valor de TOC encontrado en el presente estudio. Es posible que las diferencias entre estos valores este asociada a las metodologías usadas, ya que el valor encontrado por Díaz *et al.* (2006), es un dato teórico estimado por medio de la ecuación de Jobling (1981) que contempla la temperatura de preferencia donde los organismos se congregan dentro de un gradiente térmico (Fry, 1946; Windsor *et al.*, 2005). En el presente estudio, la estimación se basa en la capacidad de los organismos para

transformar la energía (ganancia energética) usando sus tasas fisiológicas y usando la ecuación de balance energético ( $PC = TA - (TR + TE)$ ) (Warren y Davis 1967). De esta forma se contemplan las entradas y salidas de energía del organismo, permitiendo comprender como la energía ingerida se distribuye y como el organismo se mantiene en el medio (McBride *et al.*, 2001; Ganmanee *et al.*, 2010). Situaciones parecidas a lo anterior han sucedido para otras especies, en *Haliotis midae*, Britz *et al.* (1997) encuentran una TOC menor a la estimada por Hecht (1994), quien utiliza el mismo método que Díaz *et al.* (2006). Sin embargo, es importante que exista concordancia con la temperatura del sitio donde provienen los organismos. En el presente estudio la TOC obtenida (23°C) a partir del PC, corresponde tanto con el intervalo de temperaturas registradas en Bahía Tortugas, B.C.S. (11°C a 27°C) como con el más alto porcentaje de frecuencia de temperaturas registrado en esta zona.

López y Tyler (2006) mencionan que tanto la temperatura como las dietas enriquecidas en proteínas y con gran aporte calórico tienen gran impacto sobre el crecimiento somático y reproductivo de los abulones. Estos autores encontraron mayor crecimiento en los organismos alimentados con este tipo de dietas, claro es que se necesita conocer la interacción entre ambos factores para conocer el punto de máximo aprovechamiento. En este estudio a pesar de que no se llevó a cabo un registro del crecimiento somático se observó un incremento en talla y peso de los organismos alimentados con la dieta comercial, a diferencia de la dieta natural utilizada para mantenimiento de los mismos, sugiriendo que el uso de pellet es apto para el crecimiento de los abulones.

La EA encontrada en este trabajo indica que los organismos son altamente eficientes. Se observó así que aprovechan el contenido del alimento casi por completo, ya que fueron alimentados con una dieta con alto contenido proteico (a diferencia de las dietas naturales) se esperaría que se obtuvieran valores más altos en la composición bioquímica del tejido de los abulones. Se obtuvieron valores mayores a los reportados por

Pérez-Estrada *et al.* (2011) en contenido de proteínas y lípidos en tejido, y menores concentraciones de carbohidratos. Es difícil hacer una comparación como tal del comportamiento general de los datos debido a que para el presente estudio se realizó el análisis del total de los tejidos y no solo músculo y glándula digestiva. Sin embargo, es posible también que los organismos estuvieran transformando mayormente en proteínas para crecimiento y el bajo contenido de carbohidratos sugiere alta movilización y utilización como principal fuente de energía (Pérez-Estrada *et al.*, 2011). Dado que no se observó disminución en el contenido de proteínas o lípidos, se puede pensar que en ningún caso los organismos recurrieron a hacer uso de las reservas energéticas (proteínas y lípidos), indicando que bajo todas las condiciones térmicas probadas, el alimento proporcionado aportó suficiente energía para hacer frente a las condiciones impuestas. García-Esquivel *et al.* (2007) por su parte encontraron que ni la temperatura ni el fotoperiodo afectan el contenido proteico en tejido de organismos juveniles expuestos a 20° y 25°C, sugiriendo que los abulones mantienen un balance incluso bajo condiciones de estrés térmico. De la misma forma que en el presente estudio, es evidente que la dieta proporcionada aportara la energía suficiente para lograr compensar los cambios de temperatura y fotoperiodo. En ambos estudios es probable que si los bioensayos se hubieran realizado con dietas naturales o con insuficiente aporte calórico se observarían cambios en el contenido de proteínas y lípidos, así como valores negativos de PC en las temperaturas donde existe una mayor demanda metabólica. Pérez-Estrada *et al.* (2011) reportan valores muy bajos de lípidos (gónada 17.2-23.3mg·g<sup>-1</sup> y músculo 2.8 a 3.9mg·g<sup>-1</sup>) en comparación de lo obtenido en el presente estudio; valores altos en contenido lipídico indican mejor condición fisiológica y metabólica (Ponce-Díaz *et al.*, 2004). La literatura menciona que los abulones no utilizan los lípidos como principal fuente de energía, sino más bien son importantes para el crecimiento y maduración (Mercer *et al.*, 1993; Nelson *et al.*, 2002; Ponce-Díaz *et al.*, 2004). En este caso no se encontraron tendencias claras sobre cambios en las reservas lo que hace pensar que los organismos mayormente obtenían la energía directamente del alimento.

## 9. CONCLUSIONES

- La temperatura influye directamente sobre la demanda metabólica, por lo que las tasas fisiológicas (TI, TA, TR y TE) respondieron directamente dentro de cierto intervalo.
- La TI representa el 1.4% del peso húmedo de los organismos, mayor a la reportada.
- Los abulones son organismos altamente eficientes absorbiendo nutrientes (EA: 91-95%).
- La tasa respiratoria nocturna es aproximadamente 17.7% mayor a la diurna y diferentes significativamente entre sí ( $P < 0.05$ ).
- La temperatura óptima de crecimiento es de 23°C, la cual corresponde a los valores altos de frecuencias encontradas dentro del intervalo térmico de Bahía Tortugas, B.C.S.
- El intervalo de termotolerancia para abulones de la zona de Bahía Tortugas, B.C.S. es de <math>3^{\circ}</math>-33°C, sin embargo, por debajo de los 17°C y a partir de los 26°C el crecimiento se ve afectado.
- El abulón azul no tiene la capacidad de recuperación ante temperaturas cálidas extremas y tiene una alta resistencia ante las temperaturas frías y su capacidad de recuperación ante un cambio extremo frío es del 100%.
- La TLi media fue a los 35°C.
- Los organismos expuestos a temperaturas cálidas 29°C comienzan a hacer uso de sus reservas energéticas (lípidos).
- Se observó un crecimiento acelerado usando el pellet comercial.

## 10. RECOMENDACIONES

- El abulón es un organismo cuya domesticación es un proceso difícil, requiere de gran cuidado debido a su comportamiento. Se recomienda tomar en cuenta periodos de aclimatación ya sea al tipo de alimento o al mantenimiento (frascos o refugios).
- El etiquetado individual con marcas especializadas de los organismos permite un mejor manejo y posibles equivocaciones.
- El uso de las cámaras de incubación resulto apropiado para el manejo, evitar dañar y/o estresar al organismo, sin embargo dificulta realizar las biometrías. Se sugiere que se tomen fotografías con escala para tener un aproximado de la talla del organismo.
- Se recomienda reducir la manipulación del organismo al mínimo debido a que genera estrés y secreción de mucus, además, impide la obtención de datos confiables sobre el comportamiento real de los organismos.
- Se sugiere se evalué el uso del pellet comercial con abulón específicamente para comprobar su eficacia y poder recomendarlo con fines de cultivo.
- En el caso de la toma de muestras de amonio se sugiere ampliar el periodo de muestreo para obtener un aproximado mas real de la excreción total de este compuesto.
- Si se desean hacer comparaciones sobre contenido bioquímico se sugiere se haga por tipo de tejido y no tomando en cuenta al organismo completo.

## 11. LITERATURA CITADA

- Barkai, R. y C. L., Griffiths. 1988. An energy budget for the South African abalone *Haliotis midae* Linnaeus. J Molluscan Stud. 54:43-51.
- Barkai, R. y C.L., Griffiths. 1987. Consumption, absorption efficiency, respiration and excretion in the South African abalone *Haliotis midae*. En: Payne, A.I.L., Guillard, J.A. y H., Brick (eds). The B nguela and comparable ecosystems. S. Afr J Mar Sci. 5:523-529p.
- Barnes, H. y J., Blackstock. 1973. Estimation of lipids in marine animals and tissues: detailed investigation of the sulfofosfovainillina method for total lipids. J Exp Mar Biol Eco. 12:103-118.
- Bayne, B.L. 1976a. Marine mussels: their ecology and physiology. Cambridge University Press. Inglaterra. 506p.
- Bayne, B.L. 1976b. Aspects of reproduction in bivalve molluscs. 432-448p. En: Wiley, M.L. The effects of stress and pollution on marine animals. Estuarine Processes. Academic Press. EUA.
- Bayne, B.L. y R.C., Newell. 1983. Physiological energetics of marine molluscs. En: The Mollusca: Physiology. EUA.
- Bernab , G. 1991. Acuicultura. Omega. España. 1:478p.
- Blanchard, M. y P., Gros. 1993. Estimation of matter fluxes generated by filterfeeding bivalves in the intertidal area of the Bay of Saint-Brieuc (Western Channel). Oceanol. 16:5-6.
- Britz, P.J., Hecht, T. y S., Mangold. 1997. Effect of the temperature on growth, feed consumption and nutritional indices of *Haliotis midae* fed a formulated diet. Aquaculture. 152:191-203.
- Brusca, R.C. y G.J., Brusca. 1990. Invertebrates. Sinauer. EUA.

- Puente-Carreón, E. 2009. Respuestas fisiológicas de juveniles de camarón blanco (*Litopennaeus vannamei*) a condiciones oscilantes de oxígenos disueltos y temperatura. Tesis Maestría. CICIMAR.
- Casas-Valdez M. y G., Ponce-Díaz. 1996. Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. Secretaria de Medio Ambiente Recursos Naturales Y Pesca. México. Volumen II.
- Chen, J. C y W.C., Chen. 1999. Temperature tolerance of *Haliotis diversicolor supertexta* at different salinity and temperature levels. *Comp Biochem Physiol A*. 124:73-80.
- CONAPESCA. 2011. Anuario estadístico pesquero. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. México.
- Conover, R.J. 1966. Assimilation of organic matter by zooplankton. *Limnol Oceanogr*. 11:338-345.
- Cox, D.K. 1974. Effects of the three heating rates on the critical thermal maximum of bluegill. En: *Thermal Ecology AEC Symposium Series*. 150-163.
- Díaz, F., Re, A.D., Medina, Z., Re, G., Valdez, G. y F., Valenzuela. 2006. Thermal preference and tolerance of Green abalone *Haliotis fulgens* (Philipps, 1845) and pink abalone *Haliotis corrugata* (Gray, 1828). *Aquaculture Res*. 37: 877-884.
- Elliott, J.M. y W., Davison. 1975. Energy equivalents of oxygen consumption in animal energetic. *Oecol*. 19:195-201.
- Farías, A., García-Esquivel, Z. y M.T., Viana. 2006. Physiological energetics of the green abalone, *Haliotis fulgens*, fed on a balanced diet. *J Exp Mar Biol Ecol*. 289:263-276.
- Fry, F.E.J. 1947. Effects of the environment on animal activity. University of Toronto Studies. Biological Series 55. Publication of the Ontario Fisheries. *Res Lab*. 68:1-62.

- Fujimoto, E.K., Goeke, N.M. Olson, B.J. y D.C., Klenk. 1985. Measurement of marine fish larvae. *Adv Mar Biol.* 30:217:303.
- Ganmanee, M., Sirirustanaun, N. y P.J., Abhad. 2010. Energy Budget of the thai abalone *Haliotis asinina* reared in a semiclosed recirculating land-based system. *J Shellfish Res.* 29(3): 627-642.
- García-Esquivel, Z., Montes-Magallón, S. y M.A., González-Gómez. 2007. Effect of temperature and photoperiod on the growth, feed consumption, and biochemical content of juvenile Green abalone, *Haliotis fulgens*, fed on a balanced diet. *Aquaculture.* 262:129-141.
- Gómez-Montes, L., García-Esquivel, Z., D'Abramoc, L. R., Shimadad, A., Vásquez-Peláez, C. y M.T., Viana. 2003. Effect of dietary protein:energy ratio on intake, growth and metabolism of juvenile green abalone *Haliotis fulgens*. *Aquaculture.* 220: 769–780
- González-Avilés, J.G. y S.A., Shepherd. 1996. Growth and survival of the blue abalone *Haliotis fulgens* in barrels at Cedros Island, Baja California, with a review of abalone barrel culture. *Aquaculture.* 140: 169-176.
- Guzmán-Guadalupe, E. 2013. Efecto de las fluctuaciones térmicas sobre la eficiencia de absorción de alimento en juveniles de almeja mano de León (*Nodipecten subnodosus* Sowerby, 1835). Tesis Maestría. CICIMAR. 50pp.
- Hernández-López, L. y F., Vargas-Albores. 2003. A microplate technique to quantify nutrients ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^-$  and  $\text{PO}_4^{-3}$ ) in seawater. *Aquaculture Res.*
- Hernández-Miranda, E., Veas, R., Labra, F.A., Salamanca M. y R.A., Quiñones. 2012. Response of the epibenthic macrofaunal community to a strong upwelling-driven hypoxic event in a shallow bay of the southern Humboldt Current System. *Mar Environ Res.* 79: 16–28.

- Herrera-Cervantes, H., S. E. Lluch-Cota, D. B. Lluch-Cota, G. Gutiérrez-de-Velasco. 2014. Interannual correlations between sea surface temperature and concentration of chlorophyll pigment off Punta Eugenia, Baja California, during different remote forcing conditions. *Ocean Sci* 10: 345-355.
- Hickey, D.A. y G.A.C., Singer, 2004. Genomic and proteomic adaptations to growth at high temperature. *Genome Biol.* 5:117.
- Hornbach, D.J. 1991. The influence of acclimatization, temperature and size on the oxygen consumption of the freshwater clam, *Musculum partumeium* (Say). *Comp Biochem Physiol.* 101:345-349.
- Ivelev V.S. 1939. Transformation of energy by aquatic animals. *Int Rev Ges Hydrobiol Hydrogr.* 38: 449-458.
- Leighton, D.L. 1981. Early flow of the green abalone, *Haliotis fulgens*, in hatchery and field observations.
- Leighton, D.L. Byhower, M. J. Kelly, J. C., Hooker, C.N. y D.E., Morse. 1981. Acceleration of development and growth in young green abalone (*Haliotis fulgens*) using warmed effluent seawater. *J World Maricul Soc.* 12(1): 170–180.
- Lehninger, A.L. 1971. Bioenergética. Fondo educativo interamericano. EUA.
- Lluch-Belda, D., D.B. Lluch-Cota, S.E. Lluch-Cota. 2003. The temperate-tropical eastern Pacific ecotone: Baja California's biological transition zone. *J Oceanogra.* 59: 503-513.
- Lluch-Cota, D.B. y S. Hernández-Vázquez. 2006. Desarrollo sustentable de la pesca en México: Orientaciones estratégicas. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste/ Senado de la Republica. México. 436pp.

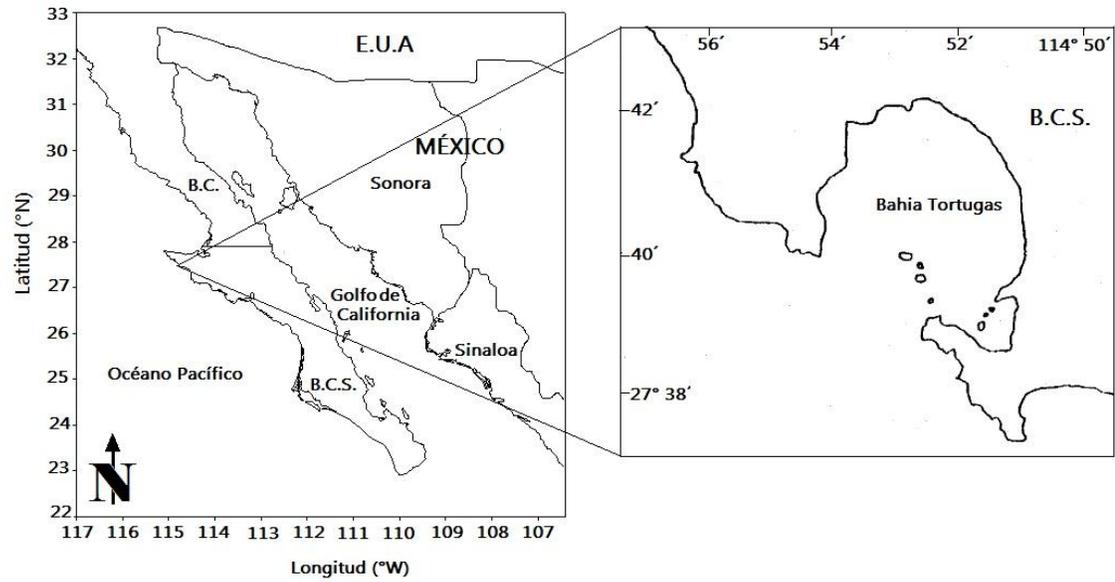
- Logan, D.I. y C.E. Epifanio. 1978. A laboratory energy balance for the larvae and juveniles of the American lobster *Hamarus americanus*. Mar Biol. 47:381-389.
- López, L. M. y P., Tyler. 2006. Energy Budget of cultured female abalone *Haliotis tuberculata* (L.). J Shellfish Res. 25(2): 385-389.
- Lucas, A. 1996. Bioenergetics of Aquatic Animals. Taylor & Francis. EUA.
- Mazón-Suastegui, J.M., Muciño-Díaz, M. y L.A. Bazúa-Sicre. 1996. Cultivo de Abulón *Haliotis spp.* 475-511p. En: Casas-Valdez, M. y G., Ponce-Díaz. Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola De Baja California Sur. Secretaria De Medio Ambiente Recursos Naturales Y Pesca. México. Volumen I.
- McBride, S., Rotem, E., Ben-Ezra, D. y M., Shpigel. 2001. Seasonal energetics of *Haliotis fulgens* (philippi) and *haliotis tuberculata* (L.). J Shellfish Res. 20(2): 659-665.
- Morales-Bojórquez, E., Muciño-Díaz, M.O. y J.A. Vélez-Barajas. 2008. Analysis of the Decline of the Abalone Fishery (*Haliotis fulgens* and *H. corrugata*) along the Westcentral Coast of the Baja California Peninsula, Mexico. J Shellfish Res. 27(4):865-870.
- Nelson, M. M., Leighton, D. L., Phleger, C. F. y P. D., Nichols. 2002. Comparison of growth and lipid composition in the green abalone, *Haliotis fulgens*, provided specific macroalgal diets. Comp Biochem Physiol B. 131: 695–712.
- Pérez-Estrada, C.J., Civera-Cercedo, R., Hernández-Llamas, A. y E., Serviere-Zaragoza. 2011. Growth and biochemical composition of juvenile Green abalone *Haliotis fulgens* fed rehydrated macroalgae. Aquaculture Nutr. 17:e62-269.
- Ponce-Díaz, G., Chávez, E.A. y M., Ramade-Villanueva. 2000. Evaluación de la pesquería de abulón azul *Haliotis fulgens* en Bahía Asunción, Baja California Sur, México. Ciencias Mar. 26(3): 393–412.

- Ponce-Díaz, G., Lluch-Cota, S.E., Bautista-Romero, J.J. y D., Lluch-Belda. 2003. Caracterización multiescala de la temperatura del mar en una zona de bancos de abulón (*Haliotis* spp.) en Bahía Asunción, Baja California Sur, México. *Ciencias Mar.* 29(3): 291–303.
- Ponce-Díaz, G., Serviere-Zaragoza, E., Racotta, I.S., Reynoso-Granados, T., Mazariegos-Villareal, A., Monsalvo-Spencer, P. y D., Lluch-Cota. 2004. Growth and tissue biochemical composition of *Haliotis fulgens* at elevated temperatures in Baja California under two dried Brown algal diets. *J Shellfish Res.* 23(4):1051-1057.
- Rodríguez-Valencia, J.A., Caballero-Alegría, F. y J., Castro-González. 2004. Tendencias temporales (1989–1999) en las poblaciones de *Haliotis fulgens* y *H. corrugata* (Gastropoda:Haliotidae) de Isla de Cedros, Baja California, México. *Ciencias Mar.* 30(3): 489–501.
- Roe, J.H., Bailey, J.M., Gray, R.R. y J.N., Robinson. 1961. Complete Removal of Glycogen from tissues by extraction with cold trichloroacetic acid solution. *J Biol Chem.* 236(5): 1244-1246.
- Rosas, C., Sánchez, A., Chimal, M.E. y R., Brito. 2003. Manual de métodos para la evaluación del balance energético en crustáceos. UNAM. México. 43p.
- Shepherd, S.A., Guzmán del Prío, S.A., Turrubiates, J., Belmar, J., Baker, J.L. y P.R., Sluczanowski. 1991. Growth, size at sexual maturity, and egg-per-recruit analysis of the abalone *Haliotis fulgens* in Baja California. *Veliger.* 34: 324-330.
- Sicard-Gonzalez, M.T. 2006. Efecto de la oscilación Térmica en la Fisiología de la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus* Sowerby, 1835). Tesis Doctorado. UANL. 185pp.
- Solórzano, L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypoclorite method. *Limnol Oceanogr.* 14:799-800.

- Taniguchi, I.K., Stein, D., Lampson, K. y L., Rogers-Bennett. 2013. Testing translocation as a recovery tool for pink (*Haliotis corrugata*) and green (*Haliotis fulgens*) abalone in southern California. *J Shellfish Res.* 32(1):209-216.
- Vandeppeer, M. 2006. Preventing summer mortality of abalone in aquaculture systems by understanding interactions between nutrition and water temperature. Abalone Aquaculture Subprogram. SARDI Aquatic Sciences Publication. Australia. 147pp.
- Veas, R., Hernández-Miranda, E., Quiñones, R.A. y F.D., Carrasco. 2012. Spatio-temporal biodiversity of soft bottom macrofaunal assemblages in shallow coastal waters exposed to episodic hypoxic events. *Mar Environ Res.* 78:1-14.
- Vosloo, A., Laas, A. y D., Vosloo. 2013. Differential responses of juvenile and adult South African abalone (*Haliotis midae* Linnaeus) to low and high oxygen levels. *Comp Bio Physiol A.* 164:192–199.
- Warren, C.E. y G.E., Davis. 1967. Laboratory studies on the feeding, bioenergetics and growth of fish. 175-214p. En: Gerking, S.D. *The Biological Basis of Freshwater Fish Production.* Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- Windsor, A., Crowe, M. y J., Bishop. 2005. Determination of temperature preference and the role of the enlarged cheliped in thermoregulation in male sand fiddler crabs, *Uca pugilator*. *J Thermal Biol.* 30:37-41.
- Yamasaki, M. 1998. Energy budget of laboratory reared juvenile abalone *Haliotis discus* and *Haliotis discus hannai*. *Bul Tohoku Nat Fisher Res Ins.* (60): 63-68.
- (1) <http://www.leoa.org.mx/RAF/index.html>

## 12. ANEXOS

### 12.1 Anexo I: MAPA



**Figura 19.** Mapa de Bahía Tortugas y su locación en la península de Baja California Sur

## 12.2 Anexo II: ALIMENTO BALANCEADO



**Figura 20.** Contenido del alimento balanceado utilizado

### Ingredientes:

Aceite de pescado, combinación de proteínas de harina de origen marino, soya, trigo, lecitina, extracto de levadura, fermentaciones solubles de premezclas de minerales y vitaminas, harina de calamar, harina de alga marina, ácido propiónico, B1, 3B1, 6D-glucan, *Yuca shidigera*, ácidos grasos omega 3 y 6, bacterias benéficas.

## 12.3 Anexo III: RESULTADOS

Tabla V: Tasa respiratoria por hora de juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*) en las diferentes temperaturas de aclimatación.

		Tasa Respiratoria (mL O <sub>2</sub> /h/g)											
Hora (h)		04:00		08:00		12:00		16:00		20:00		24:00:00	
Temp (°C)		Prom	Desvest	Prom	Desvest	Prom	Desvest	Prom	Desvest	Prom	Desvest	Prom	Desvest
11		0.481	0.307	0.417	0.314	0.330	0.263	0.463	0.281	0.594	0.395	0.589	0.496
14		0.474	0.197	0.256	0.240	0.266	0.183	0.333	0.229	0.446	0.403	0.468	0.459
17		0.461	0.234	0.452	0.597	0.268	0.146	0.212	0.149	0.315	0.178	0.408	0.270
20		0.894	0.355	0.877	0.242	0.379	0.259	0.499	0.266	0.524	0.217	0.726	0.357
23		0.413	0.258	0.289	0.202	0.378	0.267	0.242	0.192	0.315	0.185	0.432	0.236
26		0.780	0.511	1.054	0.917	0.491	0.307	0.549	0.441	0.588	0.471	0.653	0.537
29		0.949	0.704	0.675	0.659	0.534	0.304	0.440	0.364	0.702	0.684	0.860	0.635

Tabla VI: Tasa respiratoria por hora de juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*).

Tasa Respiratoria por hora (mL O <sub>2</sub> /g/ h)			
Hora	Promedio	Desviación	Tukey
4	0.615081	0.0407105	X
8	0.566801	0.0388767	XX
12	0.38604	0.0360892	X
16	0.406263	0.0355375	X
20	0.507097	0.0362181	X
24	0.577836	0.0363925	XX

Tabla VII: Tasa respiratoria diaria de juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*) en las diferentes temperaturas de aclimatación.

Tasa Respiratoria diaria (mL O <sub>2</sub> /g/h)				
Temperatura (°C)	Promedio	Desviación	P	Tukey
11	0.3169	0.1214	0.00	*
14	0.3453	0.1570		*
17	0.3183	0.1167		*
20	0.5676	0.0926		*
26	0.5910	0.2915		*
29	0.5905	0.3518		*

Tabla VIII: Tasa de ingestión obtenida para los juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*) en las diferentes temperaturas de aclimatación.

Tasa de ingesta (g de alimento/g/día)				
Temperatura (°C)	Promedio	Desviación	P	Tukey
11	0.0196	0.0220	0.00	*
14	0.0170	0.0032		*
17	0.0762	0.0172		+
20	0.1375	0.0115		--
26	0.1420	0.0175		--
29	0.0771	0.0127		+

Tabla IX: Eficiencia de absorción de juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*) a diferentes temperaturas de aclimatación.

Eficiencia de absorción				
Temperatura (°C)	Promedio	Desviación	P	Tukey
11	93.06	0.0220	0.000000	***
14	94.43	0.0236		*
17	92.60	0.0327		***
20	93.90	0.0291		***
26	91.91	0.0252		**
29	91.47	0.0302		**

Tabla X: Tasa de absorción de juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*), a diferentes temperaturas de aclimatación.

Tasa de absorción (g de alimento/g/día)				
Temperatura (°C)	Promedio	Desviación	P	Tukey
11	0.0183	0.0208	0.00	*
14	0.0160	0.0029		*
17	0.0703	0.0149		**
20	0.1292	0.0117		**
26	0.1304	0.0158		**
29	0.0706	0.0122		**

Tabla XI: Tasa de excreción de amonio de juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*) en las diferentes temperaturas de aclimatación.

Tasa de excreción ( $\mu\text{gNH}_4/\text{g}/\text{día}$ )				
Temperatura (°C)	Promedio	Desviación	P	Tukey
11	0.3553	0.1124	0.00	*
14	0.8026	0.1297		**
17	0.8128	0.1113		**
20	0.4123	0.0751		*
26	1.3357	0.1204		*
29	1.7006	0.1405		*

Tabla XII: Potencial de crecimiento ( $\text{Joules}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ ) de juveniles de abulón azul (*Haliotis fulgens*) en las diferentes temperaturas de aclimatación.

Potencial de crecimiento ( $\text{Joules}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ )				
Temperatura (°C)	Promedio	Desviación	P	Tukey
11	268.7165	67.0752	0.00	*
14	200.8312	102.1587		*
17	758.1164	412.2758		**
20	1037.5182	416.3239		***
26	917.2378	358.0775		***
29	525.1810	140.8305		**