



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS**



**EFFECTO DE LAS FLUCTUACIONES TÉRMICAS  
SOBRE LA EFICIENCIA DE ABSORCIÓN DE  
ALIMENTO EN JUVENILES DE ALMEJA MANO DE  
LEÓN (*Nodipecten subnodosus* Sowerby, 1835)**

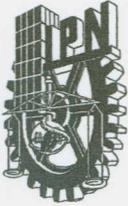
**TESIS**

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

**PRESENTA**

**ELVIRA GUZMÁN GUADALUPE**

**LA PAZ, BCS., DICIEMBRE 2013**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
**ACTA DE REVISIÓN DE TESIS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 14 del mes de Noviembre del 2013 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

**"EFECTO DE LAS FLUCTUACIONES TÉRMICAS SOBRE LA EFICIENCIA DE ABSORCIÓN DE ALIMENTO EN JUVENILES DE ALMEJA MANO DE LEÓN (*Nodipecten subnodosus* Sowerby, 1835)**

Presentada por el alumno:

**GUZMÁN**

Apellido paterno

**GUADALUPE**

materno

**ELVIRA**

nombre(s)

Con registro: 

B	1	1	0	3	0	5
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

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

**LA COMISION REVISORA**

Directores de Tesis

**DR. PABLO DEL MONTE LUNA**  
Director de Tesis

**DRA. MARÍA TERESA SICARD GONZÁLEZ**  
2º. Directora de Tesis

**DR. DANIEL LLUCH BELDA**

**DR. MARCIAL ARELLANO MARTÍNEZ**

**DR. ARTURO TRIPP QUEZADA**

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

**DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ**



**IPN  
CICIMAR  
DIRECCION**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 25 del mes Noviembre del año 2013  
el (la) que suscribe ECOL. MAR. ELVIRA GUZMÁN GUADALUPE alumno(a) del  
Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS  
con número de registro B110305 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS  
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DR. PABLO DEL MONTE LUNA Y DRA. MARÍA TERESA SICARD GONZÁLEZ

y cede los derechos del trabajo titulado:

"EFECTO DE LAS FLUCTUACIONES TÉRMICAS SOBRE LA EFICIENCIA DE ABSORCIÓN

DE ALIMENTO DE JUVENILES DE ALMEJA MANO DE LEÓN (*Nodipecten subnodosus* Sowerby, 1835)

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: [guzmanguadalupe@hotmail.com](mailto:guzmanguadalupe@hotmail.com) - [tsicard04@cibnor.mx](mailto:tsicard04@cibnor.mx) - [pdelmonte@ipn.mx](mailto:pdelmonte@ipn.mx)  
Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

ECOL. MAR. ELVIRA GUZMÁN GUADALUPE

nombre y firma

## **DEDICATORIA**

A todos los miembros de mi familia (que es enorme):

**Mi mamá (ANDREA)** por toda la confianza depositada en su hija la más pequeña.

Mis hermanos (de mayor a menor):

**María de los Ángeles** (la que le da alegría a esta familia, siendo como una segunda mamá para todos y a veces nos olvidamos de eso).

**Gonzalo** (siempre te recuerdo como el defensor de la familia).

**María Magdalena** (tomando el papel de la hermana mayor sin serlo y poniendo siempre el orden en esta familia loca).

**Francisco** (el cuarto de la familia y pareces el menor de los hermanos, buscando el buen humor para todo).

**Alejandrina** (la más risueña y divertida de la familia, como olvidarte).

**Mario** (este trabajo es con un cariño muy especial para ti, ya te la de debía desde la licenciatura. Gracias por todo el apoyo que me distes y aun me has dado para seguir adelante no solo en mis estudios sino también en mi vida personal. Fuiste eres y serás el hermano que toda (o) hermana (o) desea tener.

**Eulalia** (No sé en qué momento te convertiste en mi confidente, siempre extraño platicar contigo).

**María Isabel** (llevándome poquitos años y tratándome como un bebé. Siendo tú la más sensata de la familia).

Gracias por todo

FAMILIA GUZMAN-GUADALUPE

... Y como olvidar a la persona que llegó no en el mejor momento sino en el momento preciso.

**Miguel Ángel Aguilar de Guzmán.**

Me has enseñado no mucho sino demasiado, este trabajo te lo dedico por ser la persona que vivió conmigo todo, desde lo blanco hasta lo negro, desde el principio hasta el final, por pasar conmigo angustias, y preocupaciones pero sobre todo GRACIAS por no dejarme un instante sola y motivarme cuando más lo necesitaba, eres una persona maravillosa.

No solo te amo, no solo te adoro, no solo te quiero, sino que me siento tan orgullosa de tener un gran ser humano a mi lado y de que seas un gran ESPOSO. Gracias, por ser una persona única y portar ese ángel especial que siempre te acompaña, por dar luz, alegría, paz, y felicidad a mi vida.

Realmente deseo continuar un largo camino a tu lado.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN) por el apoyo brindado para la culminación de este trabajo.

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C (CIBNOR) por las facilidades prestadas para realizar mis bioensayos dentro de las instalaciones del Laboratorio de Ecofisiología de Organismos Acuáticos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), y al Programa Institucional de Formación de Investigadores del Instituto Politécnico Nacional (PIFI-IPN) por el apoyo económico que me otorgaron durante el desarrollo de la investigación de tesis.

A mis directores de tesis: Dra. Ma. Teresa Sicard González y Dr. Pablo del Monte Luna.

Y a los demás miembros de mi comité tutorial: Dr. Arturo Tripp Quezada, Dr. Marcial Arellano Martínez, Dr. Daniel Lluch Belda y al Dr. Federico García Domínguez.

Gracias al laboratorio de Centro de Transferencia Tecnológica del CIBNOR por las facilidades brindadas para el uso del equipo Multisizer 4, pieza clave para el desarrollo de mi experimento.

Un significativo agradecimiento a José Luis Ramírez Arce, del Laboratorio de Mejoramiento Genético en Acuicultura, por las facilidades en el transporte y la obtención de los organismos juveniles de almeja mano de león.

Un agradecimiento muy especial al Dr. Víctor H. Cruz por brindarme su apoyo y amistad de manera incondicional.

Gracias a los técnicos del laboratorio de Ecofisiología: M.C Gilberto González, M.C. Rosy Salgado, e Ing. Julio Félix Domínguez, por apoyar en todo momento y la accesibilidad de su valioso tiempo.

Como olvidar el apoyo de Donaldo Quiñones, eternamente agradecida por ayudarme con mi bioensayo.

Gaby y Dany Becerra, gracias por su pequeña pero muy valiosa participación en este proyecto.

A mis compañeros de laboratorio quienes más de una ocasión me brindaron su ayuda con una sonrisa, Alan, Jorge, Sara, Edgar, Mili, Memo, Sabrina, Donaldo, de verdad gracias por esos momentos de alegría, convivencias, bromas y consejos que siempre están motivando para dar lo mejor de cada uno.

Y a todas las personas que de forma directa e indirecta colaboraron en este proyecto, mil gracias por todo su apoyo.

## CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABLAS.....	ix
GLOSARIO.....	x
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Especies poiquilotermas: ambiente externo e interno .....	1
1.2 Especie objetivo.....	2
2. ANTECEDENTES .....	5
3. JUSTIFICACIÓN .....	7
4. HIPÓTESIS .....	8
5. OBJETIVOS .....	8
5.1 Objetivo general.....	8
5.2 Objetivos particulares .....	8
6. MATERIALES Y MÉTODOS .....	9
6.1 Área de estudio.....	9
6.2 Establecimiento de patrones de variación térmica diurno-nocturno estacional .....	9
6.3 Evaluación del Sistema de Control de Temperatura Oscilante en el laboratorio (SCTO) .....	12
6.4 Obtención de organismos experimentales.....	14
6.5 Diseño experimental .....	18
6.6 Aclimatación .....	19
6.7 Bioensayos .....	20
6.8 Análisis de resultados .....	24
7. Resultados .....	25
7.1. Tasa de Ingestión .....	30
7.2 Eficiencia de Absorción.....	30
7.3 Tasa de Absorción.....	31
7.4 Peso de tejido seco .....	32
8.0 DISCUSIÓN .....	34

9.0 CONCLUSIONES.....	39
10. LITERATURA CITADA.....	40
11. ANEXOS .....	47

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Campo Chupa Lodo, BCS, México. Sitio donde se realizó el registro de alta frecuencia de temperatura utilizado para evaluar las oscilaciones térmicas en <i>Nodipecten subsodosus</i> . .....	11
Figura 2. (a) Elementos de control del Simulador Térmico Marino Mejorado y (b) diagrama básico para el funcionamiento de la bomba de calor. ....	13
Figura 3. Estero Rancho Bueno, BCS, México. Sitio de engorda de juveniles de <i>N. subnodosus</i> , hasta alcanzar la talla requerida para los bioensayos.....	16
Figura 4. Sistema abierto de flujo continuo para el mantenimiento en laboratorio de <i>N. subnodosus</i> . ....	17
Figura 5. Diseño experimental utilizado para los bioensayos de <i>N. subnodosus</i> . Para cada estación se mantuvo como control la temperatura promedio de cada patrón térmico (línea roja discontinua). ....	18
Figura 6. Puntos de análisis para las diferentes mediciones de los bioensayos realizados con <i>N. subnodosus</i> bajo oscilaciones térmicas. La línea roja discontinua representa el grupo control a la temperatura promedio de cada estación.....	19
Figura 7. Sistema de incubación de flujo continuo utilizado para medir tasas fisiológicas en juveniles de <i>N. subnodosus</i> . El sistema permite introducir agua a temperatura oscilante o estable según el patrón deseado. ....	21
Figura 8. Sistema cerrado de flujo continuo usado para determinar tasas fisiológicas. La compensación de temperatura se logra pasando el agua a través de un serpentín de acero inoxidable inmerso dentro del tanque a la temperatura controlada.....	22
Figura 9. Registro de temperaturas de los patrones diurno-nocturno de cada estación con los que se llevaron a cabo los bioensayos en el presente trabajo. ..	25

Figura 10. Tasa de Ingestión de organismos juveniles de *N. subnodosus* sometidos a diferentes regímenes de variación térmica. La línea punteada representa la temperatura constante y la línea continua representa la temperatura oscilante. Para la estación de verano la respuesta crónica fue de 456 a 480 horas. .... 27

Figura 11. Valores de la Tasa de Absorción en organismos juveniles de *N. subnodosus* sometidos a diferentes regímenes de variación térmica. La línea punteada representa la temperatura constante y la línea continua representa la temperatura oscilante. Para la estación de verano la respuesta crónica fue de 456 a 480 horas. .... 28

Figura 12. Valores del peso seco de tejidos de juveniles *N. subnodosus* sometidos a temperatura estable y oscilante, tanto en la respuesta aguda como crónica de todos los regímenes térmicos..... 33

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de los ANOVAS aplicado a la tasa de ingestión (# céls x 10 <sup>5</sup> /g/h), eficiencia de absorción (%) y tasa de absorción (# céls x 10 <sup>5</sup> /g/h), en organismos juveniles de <i>N. subnodosus</i> , sometidos a diferentes regímenes de oscilación térmica. Se comparan las respuestas entre regímenes, estaciones y respuestas (aguda y crónica). Círculos negros indican que no hubo diferencia y los blancos que si la hubo. (Los resultados en extenso pueden verse en ANEXO, Tabla 2). .....	29
Tabla 2. Valores de la Tasa de Ingestión (TI) (# céls x 10 <sup>5</sup> /g/h), en organismos juveniles de <i>Nodipecten subnodosus</i> de 3.36 ± 0.40 cm de longitud, sometidas a temperatura estable y oscilante en la respuesta aguda y crónica de todas las estaciones. ....	47
Tabla 3. Valores de la Eficiencia de Absorción (EA) (%), en organismos juveniles de almeja mano de león ( <i>Nodipecten subnodosus</i> ) de 3.36 ± 0.40 cm de longitud, sometidas a temperatura estable y oscilante en la respuesta aguda y crónica de todas las estaciones. ....	48
Tabla 4. Valores de la Tasa de Absorción (TA) (# céls x 10 <sup>5</sup> /g/h), en organismos juveniles de almeja mano de león ( <i>Nodipecten subnodosus</i> ) de 3.36 ± 0.40 cm de longitud, sometidas a temperatura estable y oscilante en la respuesta aguda y crónica de todas las estaciones. ....	49
Tabla 5. Valores de peso seco de tejido de los organismos con los que se realizó el bioensayo, tanto de la respuesta aguda como la crónica a temperatura estable y oscilante en todos los regímenes térmicos. ....	50

## **GLOSARIO**

**Eficiencia de Absorción.** Se define como el porcentaje del alimento ingerido que es absorbido en el tubo digestivo, y mide por tanto el rendimiento de este sistema.

**Monomiario.** Son moluscos lamelibranquios que tienen un solo músculo abductor para cerrar las valvas.

**Potencial de crecimiento.** Representa la energía libre, que potencialmente puede destinarse al crecimiento, reproducción y otros procesos biológicos.

**Tasa de Absorción.** Número de células absorbidas por el tubo digestivo por unidad de tiempo. Se calcula multiplicando la Eficiencia de Absorción por la Tasa de Ingestión.

**Tasa de Excreción.** Energía perdida a través de desechos nitrogenados.

**Tasa de Filtración.** Volumen de agua que es liberado de partículas por un organismo filtrador, por unidad de tiempo.

**Tasa de Ingestión.** Número de partículas retenidas de cierto volumen de agua por unidad de tiempo y que pasan al tubo digestivo a través de la boca.

## RESUMEN

Existen evidencias sobre las amplias variaciones de temperatura bajo las cuales viven los organismos de las zonas costeras. Sin embargo, la mayoría de los estudios se han realizado a temperaturas constantes y pocos bajo oscilaciones térmicas. En organismos poiquiloterms, esto es importante debido a que la temperatura es considerada como un factor de importancia que intervienen en muchos procesos fisiológicos. En el presente trabajo se evaluó el efecto de las fluctuaciones térmicas sobre la eficiencia de absorción en juveniles de *Nodipecten subnodosus*. Además de la importancia económica de esta especie, en trabajos fisiológicos precedentes, se ha observado que es muy sensible a los cambios térmicos, por lo que es considerada un buen sujeto de estudio. Juveniles de  $3.36 \pm 0.40$  cm de longitud, fueron sometidos a los regímenes de temperatura: de primavera (18.0 a 21.2°C), verano (23.3 a 25.9°C), otoño (21.3 a 23.6°C) e invierno (15.7 a 18.0°C), de acuerdo a las variaciones naturales que se presentan en un año promedio en el Campo Chupa Lodo (27 59'40.50"N - 114 4'17.65"O), BCS, México. Las variaciones térmicas se lograron con un simulador térmico marino mejorado y para cada tratamiento se mantuvo un grupo de organismos a la temperatura promedio de cada estación. La respuesta fisiológica ante los cambios fue evaluada midiendo la Tasa de Ingestión (TI), la Eficiencia de Absorción (EA) y la Tasa de Absorción (TA). Los organismos fueron incubados en cámaras experimentales de flujo continuo con agua y la microalga *Isochrysis galbana* a una concentración de 50,000 células/mL. La TI se obtuvo midiendo el consumo de alimento por el flujo de la cámara entre el peso seco de tejido. La EA se cuantificó de acuerdo a un método estándar y la TA se calculó multiplicando la TI x EA. Los resultados muestran que los organismos incrementaron mayormente su TI y TA especialmente durante las estaciones de otoño y verano y las disminuyeron en el invierno. La EA no se modificó significativamente entre los tratamientos, sin embargo, se encontraron diferencias entre las estaciones y en temperaturas extremas para *N. subnodosus* que al parecer está relacionado con la demanda metabólica.

## ABSTRACT

There is evidence of the wide temperature variations under which organisms live in coastal areas. However, most studies have been conducted at constant temperatures and only few at oscillating conditions. In poikilotherms, this is important because the temperature is considered as a major factor involved in many physiological processes. In this study I evaluated the effect of thermal fluctuations on the absorption efficiency in juvenile *Nodipecten subnodosus* individuals. Besides the economic importance of this species, previous physiological studies have indicated that it is very sensitive to temperature changes, so it is considered a good subject for study. Juveniles of  $3.36 \pm 0.40$  cm in length were subjected to typical temperature regimes of spring (18.0 to 21.2°C), summer (23.3 to 25.9°C), autumn (21.3 to 23.6°C) and winter (15.7 to 18.0°C), according to the observed seasonal variations that occur in the field at the Campo Chupa Lodo (27° 59'40" .50 " N - 114° 4'17" .65 " W), BCS, Mexico. Thermal variations were simulated in the laboratory through an improved ocean thermal simulator. Besides the oscillating condition, a group of organisms were maintained at the average temperature of each of the seasons (treatments). The physiological response to changes was assessed by measuring the ingestion rate (TI), the absorption efficiency (EA) and the absorption rate (RT). Organisms were incubated in experimental chambers with continuous flow of water and the microalgae *Isochrysis galbana* at a concentration of 50,000 cells / mL. TI was obtained by measuring the feed consumption by the flow chamber between the dry weight of tissue. EA was quantified according to a standard method and TA was calculated as the product of TI x EA. The results show that organisms increased their TI and TA especially during the autumn and summer and decreased in winter. The EA did not change largely between treatments; however, differences were found between seasons and extreme temperatures for *N. subnodosus* which apparently is related to metabolic demand.

# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Especies poiquiloterms: ambiente externo e interno**

Los organismos poiquiloterms carecen de la capacidad de regular la temperatura corporal, por lo que su temperatura interna varía en función de la del medio. Sin embargo, estos organismos pueden realizar ajustes (compensación) para mantener sus procesos metabólicos relativamente independientes de las variaciones ambientales (Bayne, 1976). En los ecosistemas marinos, es en la zona costera que los organismos enfrentan las condiciones ambientales más cambiantes. Sin embargo, la gran mayoría de los estudios de laboratorio que tratan de evaluar el efecto de la temperatura sobre los organismos, se realizan a temperaturas constantes y no variables. La posible consecuencia de esto es que se observan reacciones compensatorias solo de manera parcial, o totalmente distintas a lo que realmente ocurre en el medio natural.

La temperatura es considerada como un factor ambiental de mayor importancia para los organismos poiquiloterms (Bayne, 1976). A diferencia de otros factores forzantes, la temperatura tiene capacidad de penetrar barreras físicas y potencialmente desatar efectos cualitativos sobre la estructura de todas las macromoléculas (Hickey & Singer, 2004). Así mismo se sabe que tiene influencia en el desarrollo de los organismos en diversas etapas y procesos del ciclo de vida: afecta directa o indirectamente la supervivencia de las larvas y adultos; influye en la reproducción a través de la maduración de los gametos, el desove, el desarrollo embrionario, la duración del periodo planctónico y el asentamiento (Kinne, 1970). Además, interviene en la velocidad de los procesos fisiológicos, provocando variaciones en el metabolismo y, por consiguiente, en las necesidades energéticas, la condición, el estado de salud y el crecimiento (Bernabé, 1991).

Los bivalvos son organismos poiquiloterms que se consideran especialmente sensibles a los cambios térmicos (Bayne, 1976) y esta sensibilidad se puede evaluar a través de la respuesta compensatoria reflejada de las diferentes tasas fisiológicas.

Los cambios en la tasa metabólica son importantes debido a que logran el mantenimiento de la homeostasis y de la tasa de ingestión (adquisición de energía para lograr realizar las funciones vitales). Particularmente los organismos filtradores han desarrollado diferentes estrategias que les permiten tener cierto control en relación a los cambios ambientales. Por ejemplo, debido a la doble naturaleza del aparato filtrador (como cedazo para captación de partículas y para el intercambio de gases) la tasa de ingestión está regulada tanto por el tamaño como por la concentración de partículas. Cuando esta concentración excede cierto valor, los organismos responden mediante tres procesos consecutivos: (1) disminuyen la tasa de filtración; (2) aglutinan las partículas por medio de la secreción de moco, regresando el excedente al medio antes de pasar al tubo digestivo (proceso conocido como elaboración de pseudoheces); y (3) el cierre de las valvas por tiempos prolongados hasta que la concentración de partículas en el medio disminuye (Bayne, 1976). Se sabe también que la tasa de ingestión se incrementa dentro de cierto rango en relación a la temperatura y que la absorción de las partículas alimenticias (a través de las paredes del tubo digestivo) se ha relacionado con la concentración y contenido bioquímico del alimento (Navarro *et al.*, 2000).

## **1.2 Especie objetivo**

La almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus* Sowerby, 1835) es un bivalvo que pertenece a la familia Pectinidae, que agrupa a varias especies de bivalvos epibióticos, monomarios y que se encuentran distribuidos por casi todos los mares del mundo. Las especies comerciales de mayor tamaño y las poblaciones más densas se localizan entre los paralelos 30° y 55° de ambos hemisferios (Brand, 1991). Comparativamente, es uno de los pectínidos más grandes en Latinoamérica: típicamente alcanza tallas de concha de 17.5 cm y un peso del músculo abductor de 200 g (García-Pámanes *et al.*, 1994); y en algunos sitios se han reportado tallas de hasta 22 cm con un peso húmedo total de dos kg y un músculo aductor de 250 g (Maeda-Martínez, 2001).

La almeja mano de león, se considera un recurso pesquero importante en el Pacífico mexicano, especialmente en el estado de Baja California Sur, México (Carta Nacional Pesquera, 2012). Este bivalvo se distribuye desde la Laguna Ojo de Liebre BCS, México hasta Perú (Keen, 1971); habita en lagunas, bahías y canales de más de 6 m de profundidad con fuertes corrientes. En el Golfo de California existen poblaciones desde la Isla Ángel de la Guarda hasta la Isla Espíritu Santo. Tradicionalmente la explotación de la almeja mano de león se efectuaba en el noroeste de México en distintas lagunas de la península de Baja California. En la actualidad la captura se limita en la Laguna Ojo de Liebre, en la parte norte del Estado de Baja California Sur, que forma parte de la Reserva de la Biosfera del Vizcaíno. En esta laguna existe la población más numerosa de almeja mano de león en el estado. De acuerdo con los registros actuales, existen aproximadamente 17 bancos explotados en esta zona, siendo La Ventana el más productivo. (Massó-Rojas, 2000). Las primeras estadísticas oficiales datan desde 1991. En ese año se obtuvieron 5 t de callo y en 1999 los volúmenes de captura alcanzaron un máximo de 157 t. Posterior a esta fecha, la captura promedio se estabilizó alrededor de las 100 t (Maeda-Martínez, 2001).

La almeja mano de león, habita en lugares donde existen corrientes intensas, a profundidades entre 8 m y 20 m. Se asocian a bancos de pastos marinos (*Zostera* sp), que constituyen el sustrato preferencial de fijación de juveniles (Contreras, 1993), el tipo de sedimento es arena fina a gruesa en los canales. Se ha reportado que este organismo tiene preferencia por temperaturas templadas (12°C y 25°C).

Sicard (2006) demostró que *N. subnodosus* es una especie que ha servido para modelos para hacer experimentos por su capacidad de respuesta fisiológica ante cambios térmicos. Observó que los organismos sometidos a variaciones térmicas no sólo compensan los cambios térmicos, sino que aumentan su potencial de crecimiento en comparación a los organismos que se someten a condiciones de temperatura estable. Para lograr esto, los organismos varían sus tasas fisiológicas a medida que la temperatura cambia, particularmente la tasa de ingestión y la tasa

respiratoria. Sin embargo, se desconoce si son capaces de variar su eficiencia de absorción a lo largo de los ciclos térmicos. También se desconoce si los cambios en los patrones de variación térmica a lo largo del año, condicionan la capacidad de adquisición de energía.

En el presente trabajo se estudiarán los cambios en la tasa de ingestión, la eficiencia de absorción y la tasa de absorción de alimento en organismos juveniles de la almeja mano de león, en relación a la variación estacional de temperatura controlada en laboratorio, emulando las condiciones de su hábitat natural en la laguna de Guerrero Negro, BCS, México.

## 2. ANTECEDENTES

Los pectínidos son bivalvos epibentónicos que se caracterizan por poseer grandes branquias adaptadas para alimentación por filtración (López-Sánchez, 2003). Estos organismos, como cualquier bivalvo, se alimentan filtrando el material particulado (seston) que se encuentra suspendido en la columna de agua (Navarro, 2001): fitoplancton, diatomeas bentónicas y microzooplancton (Bricelj & Shumway, 1991; Harty & Chute, 2004). Sin embargo, no todas las partículas que son ingeridas logran pasar a través de la pared del tubo digestivo (absorción). El porcentaje de partículas que son absorbidas en relación con las que son ingeridas es lo que se conoce como "eficiencia de absorción".

Conover (1966) propuso un método para evaluar indirectamente esta variable. El método se basa en cuantificar la razón materia orgánica e inorgánica del alimento y de las heces, ya que la fracción inorgánica no puede ser absorbida por el tubo digestivo. Esto ha sido aplicado principalmente como una alternativa auxiliar incluida en la ecuación de balance energético de Warren & Davis (1967) para expresar la energía disponible para crecimiento. Sin embargo, pocas observaciones se han realizado sobre los factores que influyen sobre la eficiencia de absorción.

Widdows *et al.* (1979) mostraron una relación inversa entre la eficiencia de absorción y la cantidad de alimento consumido; a bajas concentraciones de alimento, todo el material filtrado se digiere y una parte es eliminado como heces glandulares (Thompson & Bayne, 1972; Bayne & Newell, 1983), mientras que a altas concentraciones de alimento, la glándula digestiva no es capaz de procesar y absorber todo el material ingerido, por lo que antes de pasar por ésta una fracción es eliminada como heces intestinales (Navarro, 2001).

Algunos autores han encontrado que existe una relación entre el contenido bioquímico del alimento y los cambios en la eficiencia de absorción. Farías *et al.*

(1997) mostraron un incremento en la eficiencia de absorción de *Argopecten purpuratus* del 63 % al 84 % al suministrar microalgas con diferente concentración de proteínas. En esta misma especie, Navarro *et al.* (2000) encontraron que la mayor eficiencia de absorción se obtuvo con dietas que contenían sólo microalgas y con aquellas suplementadas con una emulsión lipídica. Además estos autores encontraron que la tasa de aclaramiento y la cantidad de alimento ingerido son reguladas de tal manera que la eficiencia de absorción puede mantenerse independiente de la temperatura. Eficiencias de absorción menores han sido relacionadas con dietas ricas en carbohidratos (Epifanio, 1983).

Dada la influencia de la temperatura sobre los diversos procesos fisiológicos, se han realizado estudios que relacionan este factor con la fisiología energética en pectínidos, Sin embargo, estos son escasos y la mayoría son llevados a cabo a temperatura estable (Sicard, 2006). Los efectos de las variaciones térmicas sólo han sido parcialmente descritos para algunos organismos (Widdows, 1976; Diana, 1984; Sánchez *et al.*, 1984; Pilditch & Grant, 1999; López-Sánchez, 2003; Sicard, 2006).

Para *N. subnodosus*, en bioensayos a temperatura variable, López-Sánchez (2003), demostró que esta especie tiene la capacidad de compensar la tasa de ingestión en pocas horas (aproximadamente 36 h) y su tasa de ingestión no varía con la hora del día (filtrador continuo). Encontró también que estos organismos no se ven afectados por el fotoperiodo y que su tasa de ingestión depende de la talla, la oferta de alimento y de la temperatura del medio. Sicard (2006) estudió el efecto de las variaciones térmicas sobre el potencial de crecimiento, mostrando que los organismos sometidos a oscilaciones térmicas presentan potenciales mayores de crecimiento. Sin embargo, se desconoce si los cambios en la eficiencia de absorción son un mecanismo compensatorio de las variaciones térmicas de los organismos de zonas costeras.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

En estudios realizados sobre ecofisiología de organismos marinos, se desconocen los mecanismos compensatorios que realizan los organismos que habitan en zonas donde prevalecen condiciones ambientales cambiantes. Hasta el momento existen pocas investigaciones que hayan realizado observaciones fisiológicas a temperatura oscilante. Bajo una perspectiva utilitaria, *N. subnodosus* es un organismo de gran importancia comercial en el Estado de Baja California Sur. Además, esta especie es un excelente sujeto de estudio debido a su sensibilidad a los cambios térmicos. Por esta razón, se han realizado algunos estudios sobre cambios compensatorios bajo fluctuaciones térmicas. El presente trabajo aporta información adicional a estas observaciones en relación a la adquisición de energía, particularmente a cambios en la eficiencia de absorción.

## **4. HIPÓTESIS**

Los organismos sujetos a condiciones fluctuantes de temperatura cuentan con mayor potencial de crecimiento en comparación a los que permanecen bajo condiciones estables. Si los organismos son capaces de ajustar su eficiencia de absorción, entonces se esperan cambios en términos relativos de esta ante condiciones fluctuantes de temperatura.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo general**

Evaluar el efecto de las fluctuaciones térmicas sobre la eficiencia de absorción de alimento en juveniles de la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*).

### **5.2 Objetivos particulares**

1.- Obtener datos de frecuencia diaria de la temperatura superficial del mar de enero 2008 a enero 2010, a partir de los termógrafos ubicados en sitios donde existen las poblaciones naturales de almeja mano de león en BCS.

2.- Evaluar los cambios en la tasa de ingestión, eficiencia de absorción y tasa de absorción de la almeja mano de león emulando variaciones diarias y estacionales de temperatura.

## **6. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **6.1 Área de estudio**

La costa occidental de la Península de Baja California, se encuentra ubicada en una región de transición templado-tropical (Lluch-Belda *et al.*, 2003a), en donde ocurren intensas variaciones climáticas a diferentes escalas temporales: horarias, diurnas, estacionales, interanuales, decadales y tendencias de mayor periodo (Lluch-Cota *et al.*, 2001; Ponce-Díaz *et al.*, 2003; Lluch-Belda *et al.*, 2003b). Precisamente en las costas, el efecto de las fluctuaciones diurno-nocturnas de la temperatura es acentuado por las variaciones mensuales (producto de una intensa estacionalidad) y el efecto de las mareas. Al subir la marea, entran a las bahías grandes volúmenes de agua fría provenientes de la Corriente de California. Esta agua se calienta rápidamente por radiación solar debido a las condiciones someras que se presentan en estos sitios y al bajar la marea el agua caliente sale a mar abierto. De esta forma, los organismos están constantemente expuestos a grandes cambios de temperatura.

### **6.2 Establecimiento de patrones de variación térmica diurno-nocturno estacional**

La primera parte de la metodología consistió en: 1) realizar una búsqueda de registros térmicos de alta frecuencia (diarios y estacionales) ubicados en sitios donde se establecen poblaciones naturales de la almeja mano de león en BCS; y 2) caracterizar en base a esta información, los patrones de variación diurno-nocturno para cada estación del año. La búsqueda de registros se realizó en la página del "Observatorio Marino para la región del Pacífico Mexicano" (Sicard *et al.*, 2012). Estos registros se obtienen colocando termógrafos que son programados para registrar la temperatura cada 30 minutos, ininterrumpidamente, a lo largo de dos años.

Se seleccionó la serie de temperatura de la zona de Campo Chupa Lodo, ubicada en la Laguna de Guerrero Negro, BCS, México (Figura 1) donde se localizan los mayores bancos de almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*). Esta laguna se ubica en la parte central del complejo Lagunar Ojo de Liebre, BCS. El complejo costero comprende la Laguna Manuela al norte, la Laguna de Guerrero Negro central y al sur la Laguna Ojo de Liebre. Los tres cuerpos de agua se interrelacionan entre sí a través de la Bahía Sebastián Vizcaíno, en la cual desembocan (Águila-Ramírez, 1998).

La Laguna de Guerrero Negro presenta un área total aproximada de 2, 100 ha, tiene una longitud de norte a sur aproximada de 12.87 km y 8 km de ancho, su comunicación al mar es de aproximadamente 8.5 km. Los sedimentos van de arenas grises intermedias mezcladas con aluvión orgánico, hasta cementos de caliza detrital principalmente de carbonato de calcio con una superficie de granos finos fosilíferos.

Esta laguna tiene la particularidad de estar influenciada por el aire fresco del Pacífico, con temperaturas en intervalos extremos de 0 °C a 40 °C y las corrientes predominantes en su interior no son mayores a los 2.3 km (Contreras, 1993) y el intervalo de marea va de 1 m a 3.6 m (Rupp *et al.*, 2004). Las llanuras están separadas por grandes aéreas de bajos donde abundan los bancos de pastos marinos (*Zostera* sp.) ubicados a profundidades de aproximadamente de 5 m. Debido a esto, durante la metamorfosis los organismos se localizan fijados al pasto o rocas.

Estacionalmente, la temperatura media de fondo oscila entre los 14 °C ( $\pm 2$  °C) de diciembre a mayo y 19 °C ( $\pm 2$  °C) de junio a noviembre (Maeda-Martínez *et al.*, 2009). La evolución anual de la salinidad oscila entre 34.7 ups y 37.5 ups. En esta localidad, al igual que la Laguna Ojo de Liebre, se encuentran los bancos de mayor producción de la almeja mano de león en el estado (Ponce-Díaz *et al.*, 2011). Adicionalmente, de los registros encontrados la serie de Campo Chupa Lodo, fueron los más completos, con dos años continuos de 2008 a 2010. Estos datos se

procesaron promediando la temperatura de cada hora a lo largo de un día para el mes central de cada estación, obteniendo así el patrón de variación diurno-nocturno de primavera, verano, otoño e invierno.

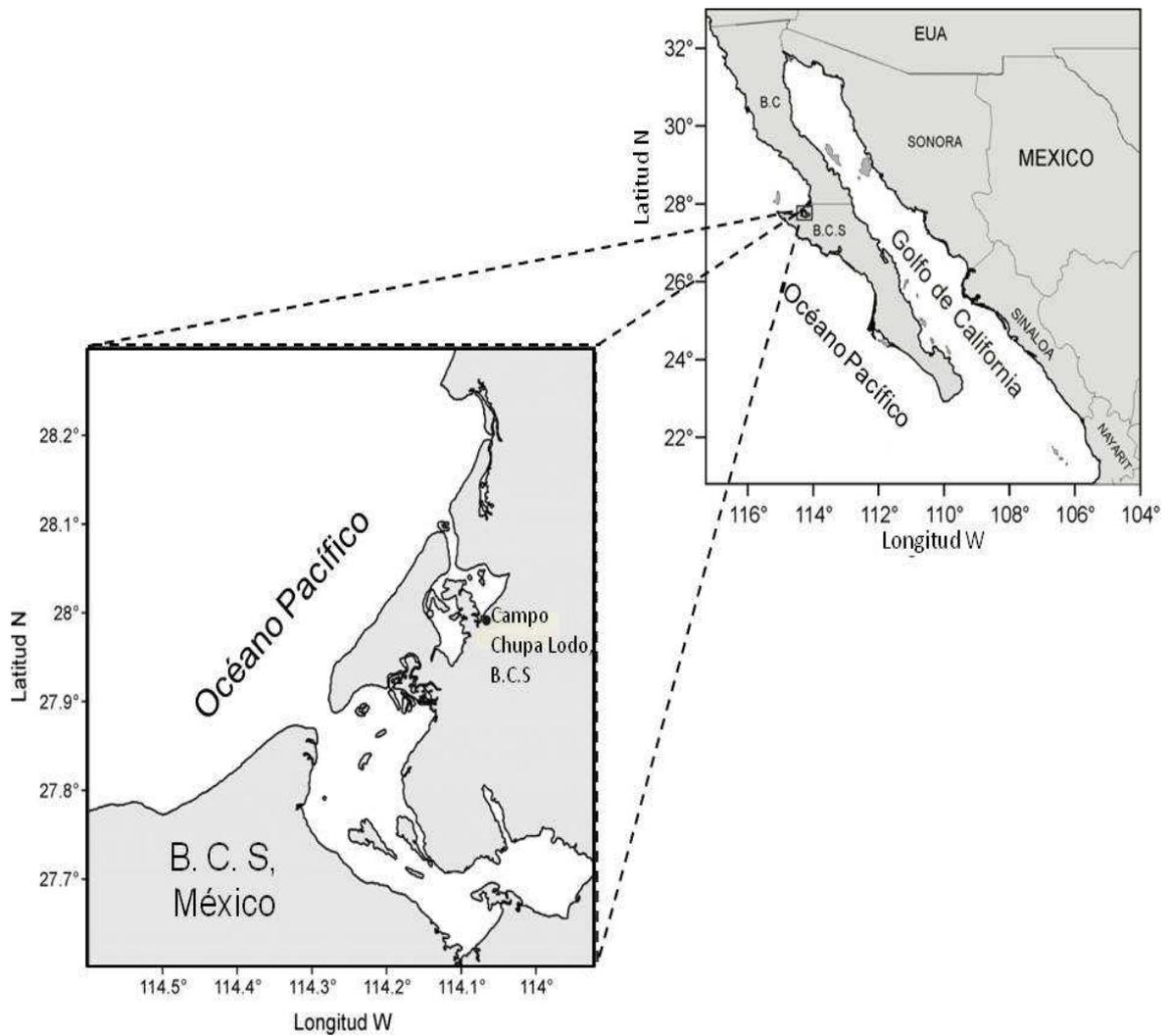


Figura 1. Campo Chupa Lodo, BCS, México. Sitio donde se realizó el registro de alta frecuencia de temperatura utilizado para evaluar las oscilaciones térmicas en *Nodipecten subsodosus*.

### **6.3 Evaluación del Sistema de Control de Temperatura Oscilante en el laboratorio (SCTO)**

Previo al periodo experimental, los registros de variación diurna-nocturna de temperatura del mar fueron ingresados al Simulador Térmico Marino Mejorado (SITMAM). Este equipo es una modificación realizada al equipo computarizado descrito por Sicard (2006) y fue diseñado para controlar la temperatura de forma automática, simultánea e independiente en seis contenedores de 350 L por tiempos prolongados. La temperatura del agua es regulada por un sistema de enfriamiento/calentamiento, controlado a su vez por una bomba de calor de 6000 BTU/h con tolerancia a la exposición de agua marina.

El funcionamiento de la bomba de calor se basa en un mecanismo de válvula inversora que cambia el sentido del refrigerante dentro del sistema, la función de la bomba de calor es hacer fluir el agua por medio de una bomba sumergible a través del intercambiador, este dispositivo es un depósito cilíndrico con espirales de líneas de refrigerante que van al compresor, al evaporador y al a válvula de dirección de flujo; la electro válvula controla el flujo del refrigerante y de esta forma se modifica la temperatura del agua (Figura 2). El control térmico se logra de forma automática por medio de un programa diseñado *ex profeso*: la temperatura del agua es registrada por medio de un sensor y el registro actual es convertido y comparado contra un dato etiquetado con fecha, previamente cargado en un archivo del sistema. De esta forma el equipo es capaz de emular cualquier patrón de temperatura en los contenedores, de acuerdo a las condiciones cargadas en el archivo.

Las pruebas de funcionamiento del sistema consistieron en ingresar los patrones de variación diurna-nocturna establecidos para cada estación en el Campo Chupa Lodo y observar la precisión con la que trabajó el sistema. Los patrones fueron aplicados dentro de los tanques del sistema sin flujo por un periodo de 48 horas, a la vez que la temperatura fue registrada por medio de un termógrafo digital (marca Optic Stow

Away Temp modelo: HOB0 Pendant temp/light) cada 15 minutos. Posteriormente se calcularon las diferencias para cada patrón estacional entre la temperatura programada menos la temperatura observada. La precisión del sistema se calculó con el promedio y la desviación estándar de estas diferencias.

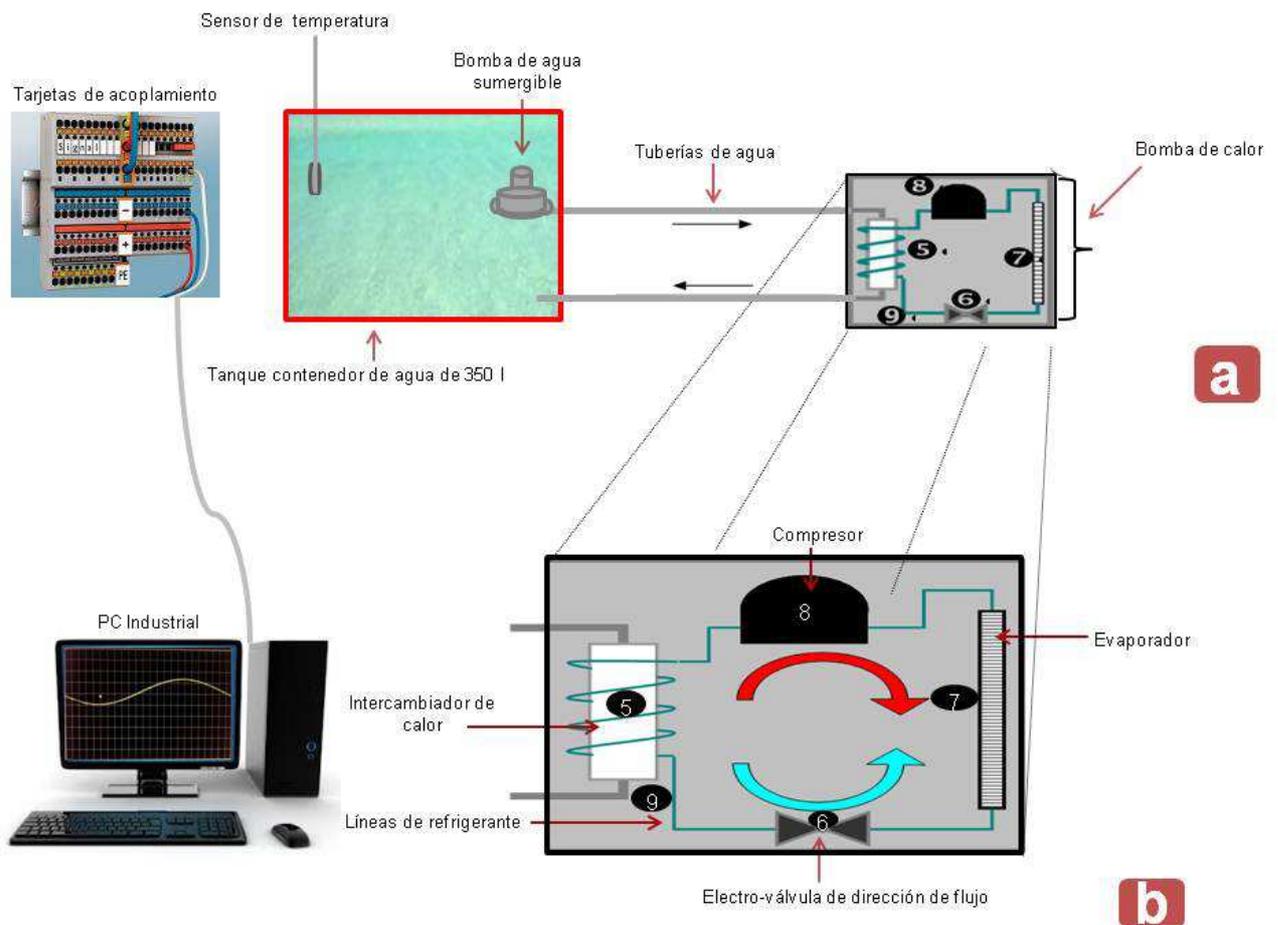


Figura 2. (a) Elementos de control del Simulador Térmico Marino Mejorado y (b) diagrama básico para el funcionamiento de la bomba de calor.

#### **6.4 Obtención de organismos experimentales**

Con el propósito de obtener organismos juveniles de la misma talla y edad se adoptó la siguiente estrategia:

**a)** Se obtuvieron organismos adultos reproductores del medio natural, recolectándolos en la Laguna Ojo de Liebre, durante septiembre de 2011.

**b)** Los reproductores recolectados en el medio natural, fueron transportados al Laboratorio de Mejoramiento Genético del CIBNOR, donde se mantuvieron en condiciones óptimas hasta alcanzar la madurez gonádica, siguiendo la metodología de Ramírez *et al.* (1999). Los organismos se colocaron en contenedores plásticos de 80 L, a una temperatura de 23 °C y salinidad de 38 ups, con aireación constante. La alimentación se llevó a cabo con una mezcla de las microalgas *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros calcitrans* en proporción 1:1, a una ración de  $15 \times 10^9$  cél/org/día. Diariamente se realizaron recambios del 100% del agua bajo las mismas condiciones.

**c)** Una vez que los individuos alcanzaron la madurez, se realizó la inducción al desove de manera individual. Cada organismo fue inyectado en el músculo aductor con 0.5 mL de serotonina a una concentración 0.5  $\mu$ m. Por tratarse de una especie hermafrodita funcional, la serotonina induce primero la liberación de gametos masculinos seguida por la de los gametos femeninos. Una vez que se liberan los ovocitos, éstos son aislados inmediatamente en un tamiz de 15  $\mu$ m para evitar la autofecundación.

**d)** La fertilización se llevó a cabo dentro de vasos de precipitados de 1 L con un pool de 10 espermas por óvulo.

**e)** El cultivo larvario se realizó en tanques de 1000 L, a una densidad de 5 larvas/ml, con una alimentación de 30-50 cél/mL, manteniendo la temperatura a 24 °C y recambios totales de agua cada 48 horas. A los 15 días las larvas alcanzaron el estadio pediveliger o larva con mancha ocular para seguir el proceso de fijación.

**f)** Para la fijación, las larvas se colocaron en tanques de fondo cónico de 80 L. Se introdujo una malla sombra de polietileno de 3 mm de color negro como sustrato. En esta etapa, la alimentación de las larvas se inició con una mezcla de microalgas a una concentración de 50 hasta 200 células/mL manteniendo la temperatura a 24°C. El tiempo de cultivo de larva a semilla de 2 mm de longitud tardó 45 días.

**g)** La siembra de juveniles (3 mm) en campo se efectuó durante noviembre de 2011. Las semillas fueron introducidas en bolsas de malla plástica y posteriormente se colocaron en canastas tipo Nestier en el Estero Rancho Bueno, ubicado en Bahía Magdalena BCS, México (Figura 3), donde los organismos crecieron hasta alcanzar la talla de 4 cm de longitud, fijada para realizar el bioensayo.

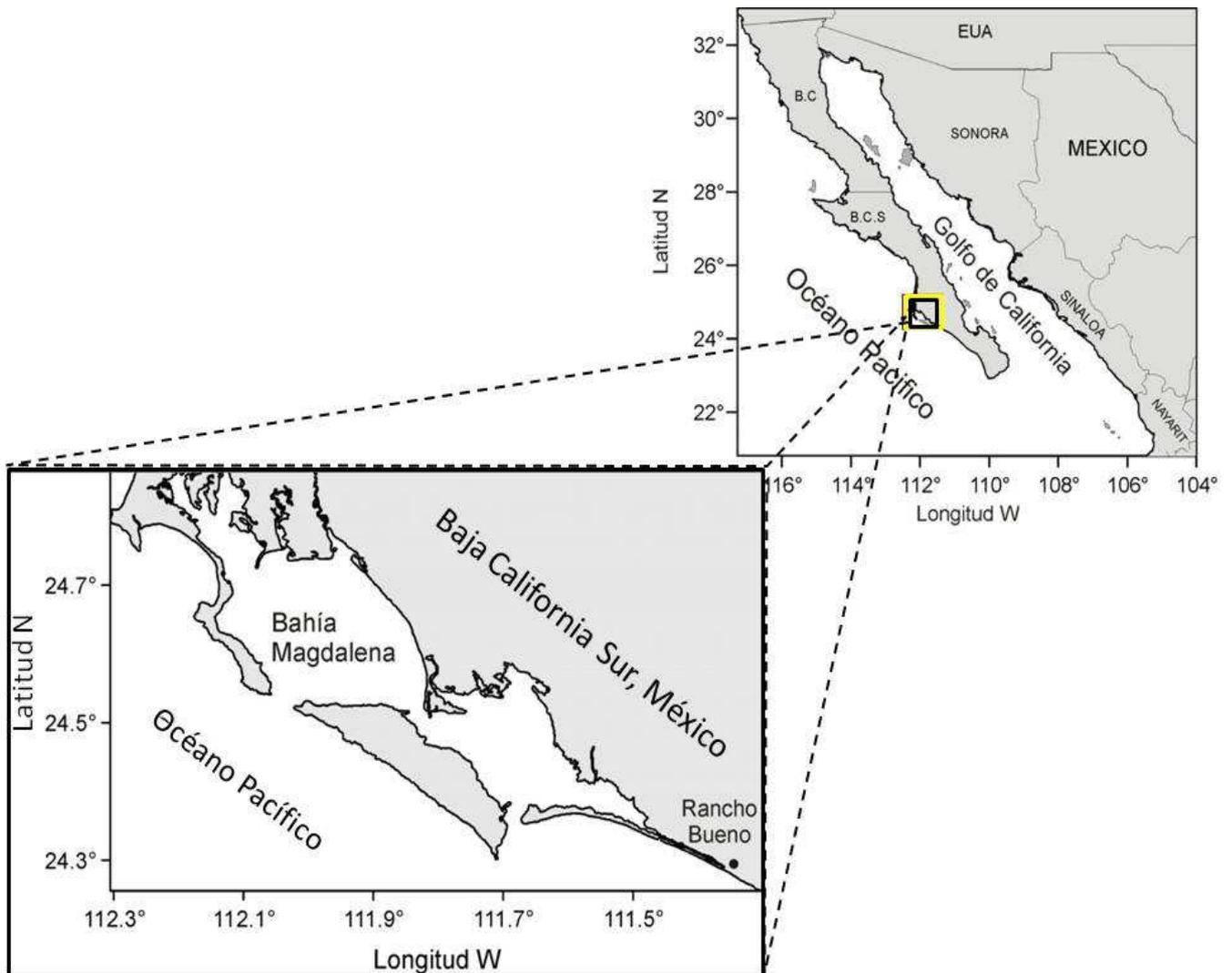


Figura 3. Estero Rancho Bueno, BCS, México. Sitio de engorda de juveniles de *N. subnodosus*, hasta alcanzar la talla requerida para los bioensayos.

**h)** El transporte de organismos al laboratorio se realizó en hieleras con aireación, manteniendo la temperatura constante a 22 °C por medio de bolsas de gel congelado. A su llegada al Laboratorio de Ecofisiología de Organismos Acuáticos del CIBNOR, las almejas fueron distribuidas de forma uniforme en cinco tanques

plásticos de 80 L, conteniendo agua marina filtrada, aireación constante y una temperatura de 24 °C y 38 ups para su aclimatación por 21 días. En este periodo, a los organismos se les proporcionó alimento a libre demanda con una mezcla 1:1 de *I. galbana* y *C. calcitrans* a una concentración de  $3.5 \times 10^4$  céls/mL mediante un sistema abierto de flujo continuo (Figura 4). Este sistema cuenta con un tanque de 200 L donde se mezclaron agua marina filtrada con una mezcla de *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros calcitrans* en proporción 1:1, a una ración de  $15 \times 10^9$  células/org/día. El flujo se regula con micro válvulas de bola de inserción.

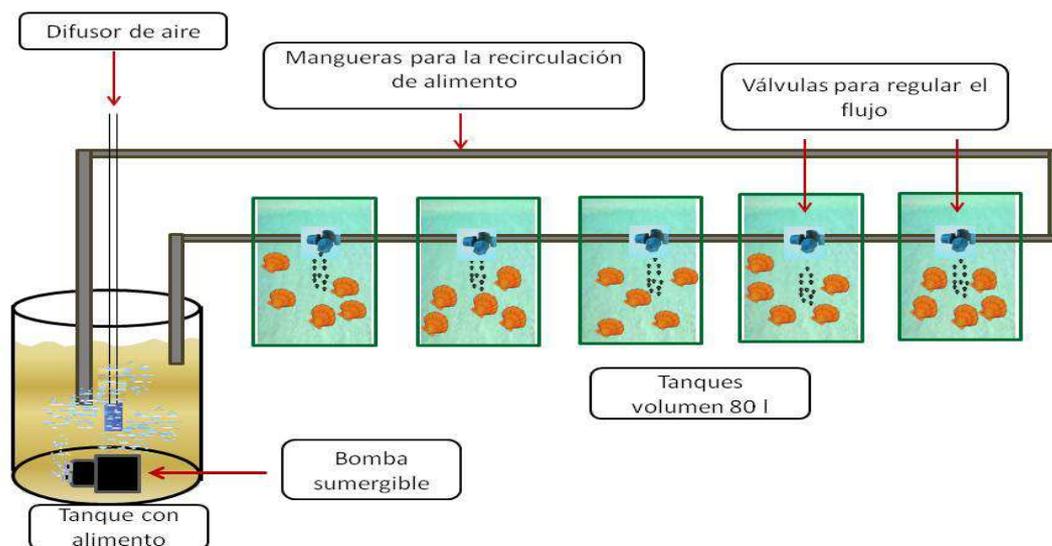


Figura 4. Sistema abierto de flujo continuo para el mantenimiento en laboratorio de *N. subnodosus*.

## 6.5 Diseño experimental

Se utilizaron organismos juveniles de  $3.3 \pm 0.40$  cm de longitud, los cuales fueron sometidos a los patrones de oscilación térmica diurna-nocturna (primavera, verano, otoño e invierno) y para cada patrón se mantuvo un grupo de organismos al promedio de temperatura como control (Figura 5).

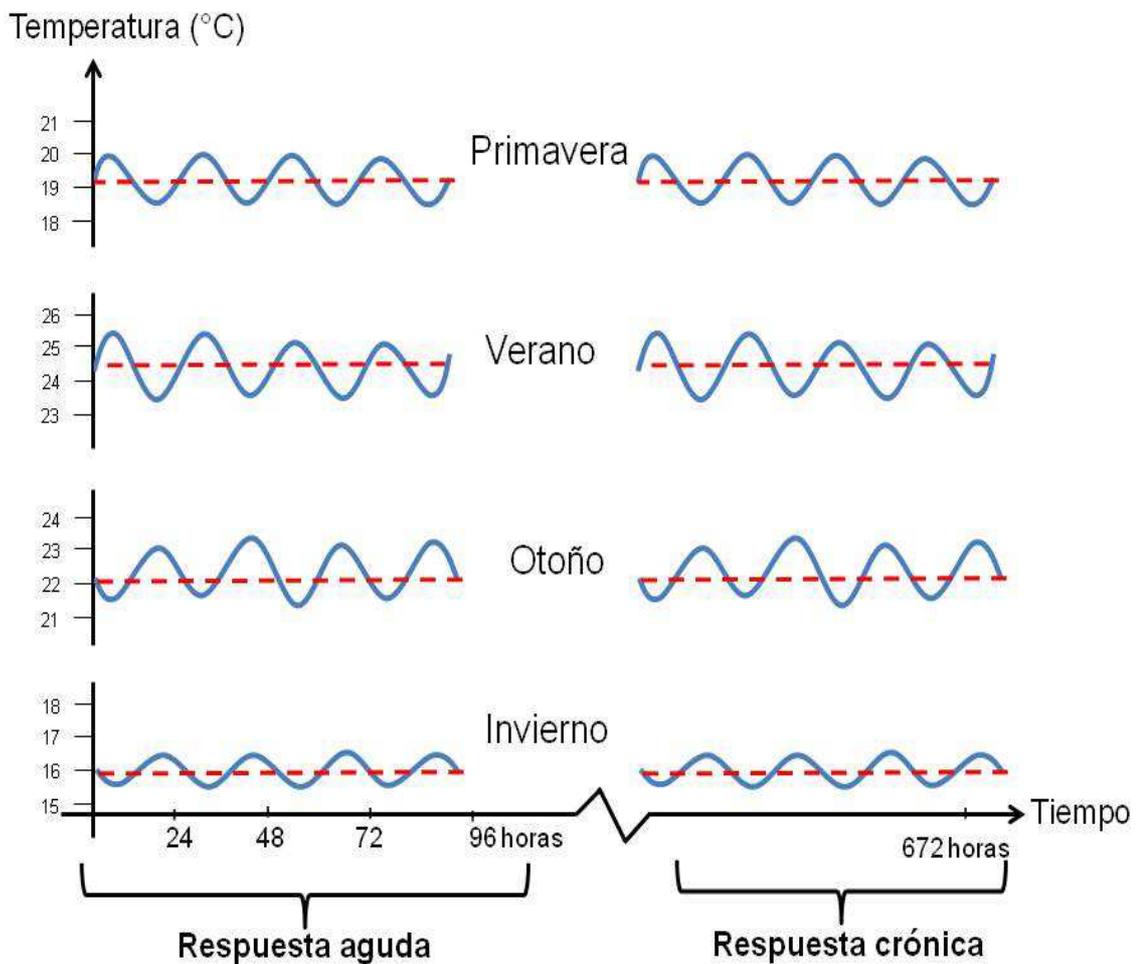


Figura 5. Diseño experimental utilizado para los bioensayos de *N. subnodosus*. Para cada estación se mantuvo como control la temperatura promedio de cada patrón térmico (línea roja discontinua).

La eficiencia de absorción fue comparada entre patrones estacionales y sus controles, evaluando en diferentes puntos de la oscilación (crestas, nodos y valles), tanto en una respuesta aguda (96 horas), como en una crónica (672 horas; Figura 6).

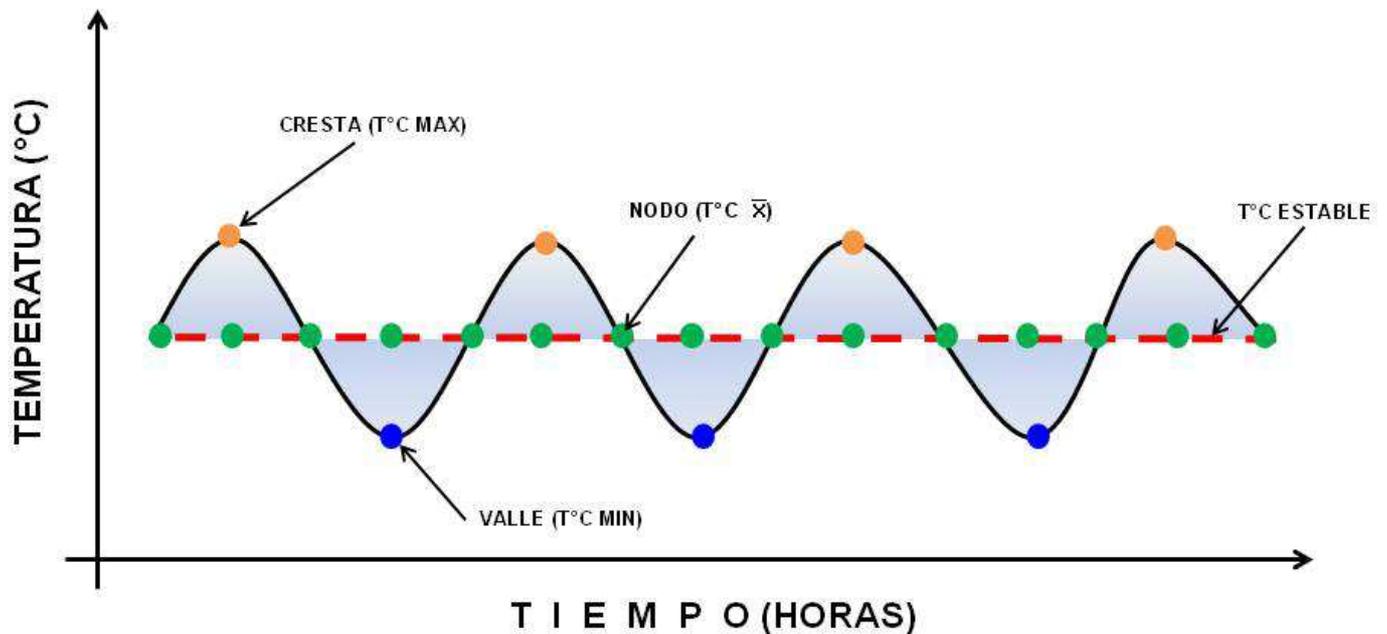


Figura 6. Puntos de análisis para las diferentes mediciones de los bioensayos realizados con *N. subnodosus* bajo oscilaciones térmicas. La línea roja discontinua representa el grupo control a la temperatura promedio de cada estación.

## 6.6 Aclimatación

Antes de iniciar con los experimentos, los organismos fueron aclimatados al promedio del patrón de variación térmico diurno-nocturno de cada estación. Así, 150 organismos fueron llevados paulatinamente de la temperatura a la cual se recolectaron hasta la temperatura objetivo, incrementando o disminuyendo la temperatura en 2°C/día, hasta llegar a 19.6 °C (primavera), 24.6°C (verano), 22.2°C

(otoño) y 16.7 °C (invierno). Una vez lograda cada temperatura, los organismos se mantuvieron en ésta por un mínimo de tres días antes de dar inicio a los bioensayos.

## **6.7 Bioensayos**

Los organismos aclimatados fueron sometidos al patrón de variación diurno de cada estación para evaluar los cambios en la eficiencia de absorción. Previo a cada bioensayo, los organismos se mantuvieron 48 horas en ayuno en agua marina filtrada a 1 µm para asegurar que los organismos tuvieran el tubo digestivo vacío. Una vez iniciada la oscilación, la tasa de ingestión (TI) fue cuantificada en las crestas, nodos y valles de la oscilación durante las primeras 96 horas para evaluar la respuesta aguda. La tasa de excreción (TE) se estimó cada 24 horas y la eficiencia de absorción (EA) fue calculada a partir de la TI y la TE, cada 24 horas por medio del método de Conover (1966). Posteriormente con la información obtenida se estimó la Tasa de Absorción (TA), multiplicando la TI por la EA.

La TI se calculó de forma individual, midiendo el consumo de alimento por unidad de tiempo y estandarizando a peso de tejido seco. Para ello 10 organismos fueron colocados de forma individual dentro de un sistema de 10 cámaras de incubación de vidrio de 580 mL de flujo continuo controlado y abierto. Adicionalmente se utilizaron dos cámaras como blancos, sin organismos (Figura 7). El sistema fue usado por duplicado, uno para el tratamiento a temperatura estable y otro para temperatura oscilante, colocando cada sistema dentro de dos tanques del SITMAM a manera de baño María. 200 L de agua de mar filtrada a (1µm), conteniendo 50,000 cél/mL de *I. galbana*, fueron almacenados en un tanque de plástico con aireación continua.

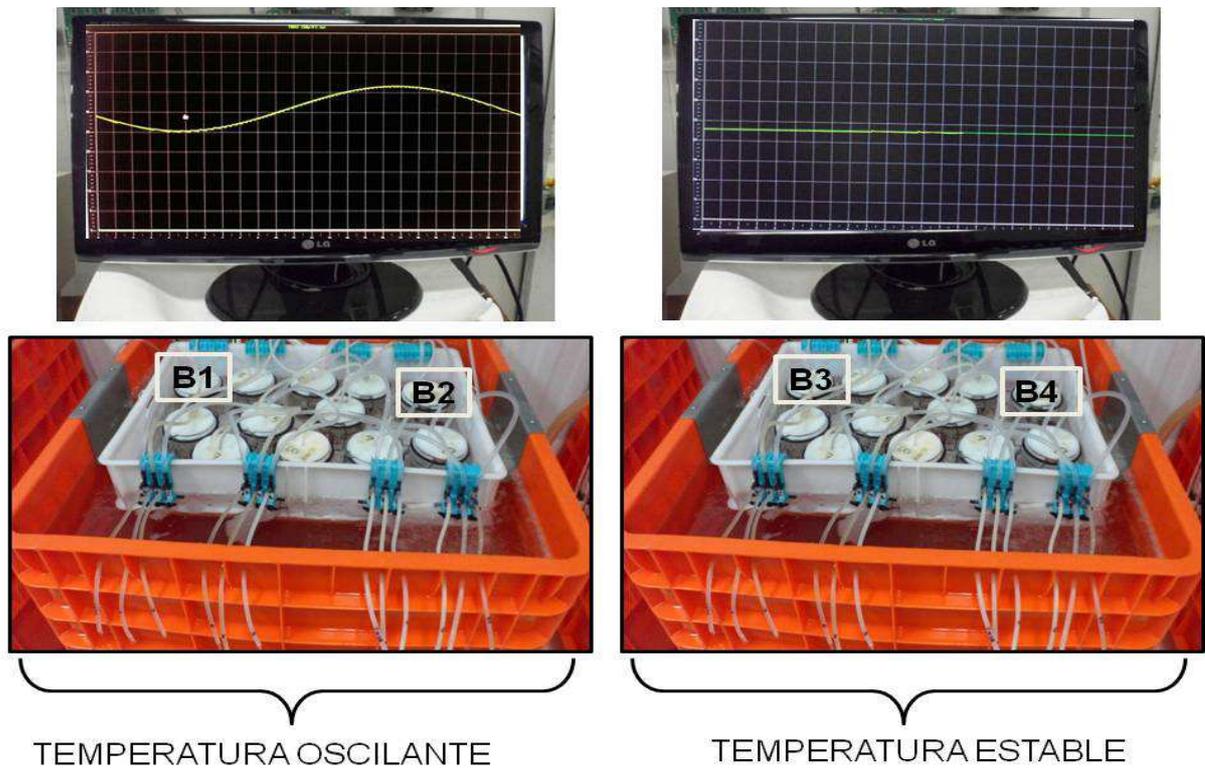


Figura 7. Sistema de incubación de flujo continuo utilizado para medir tasas fisiológicas en juveniles de *N. subnodosus*. El sistema permite introducir agua a temperatura oscilante o estable según el patrón deseado.

El agua fue bombeada desde un tanque elevado y de ahí se alimentaron las cámaras pasando primero por un serpentín de acero inoxidable de 0.47 mm de diámetro y 2.5 m de longitud individual para igualar la temperatura del baño María. El agua proveniente de los serpentines se conectó con manguera de silicón de 0.52 mm de diámetro a un distribuidor de plástico para alimentar, a través de mangueras de silicón del mismo diámetro, a cada una de las cámaras. Las mangueras se insertaron a través de un orificio perforado en las tapas fabricadas con placa de polietileno

rígido, procurando que la manguera penetrara hasta el fondo de las mismas (Figura 8).

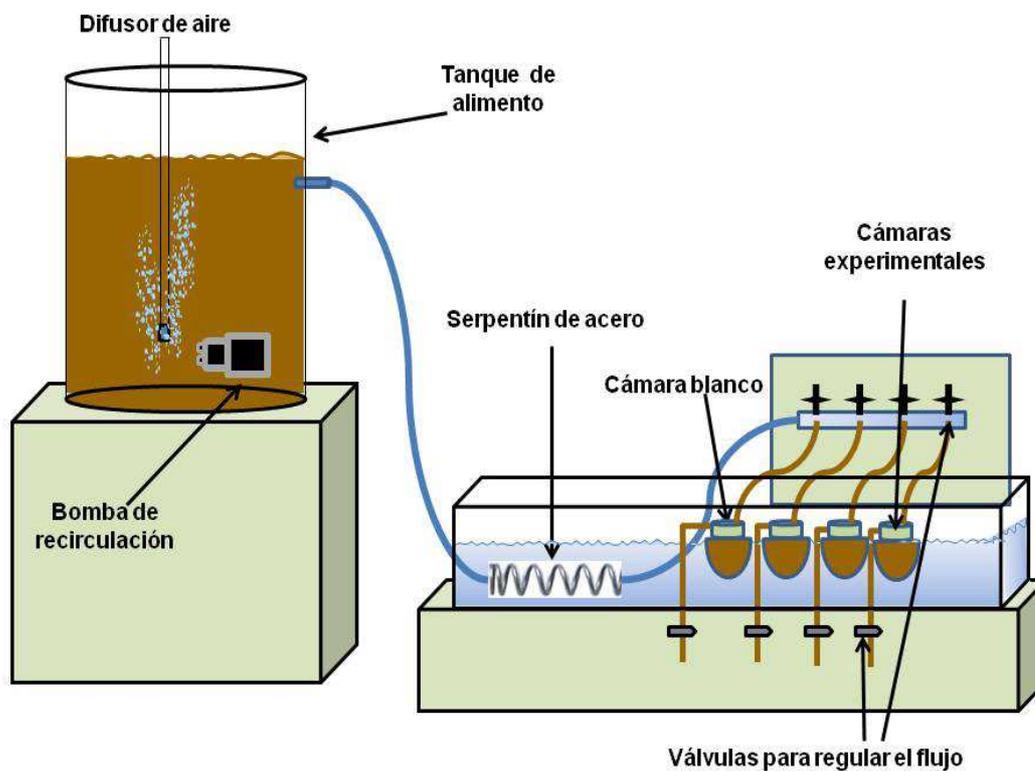


Figura 8. Sistema cerrado de flujo continuo usado para determinar tasas fisiológicas. La compensación de temperatura se logra pasando el agua a través de un serpentín de acero inoxidable inmerso dentro del tanque a la temperatura controlada.

El flujo fue ajustado de forma individual para cada cámara entre 50 mL/h y 60 mL/h. En los puntos de muestreo, se tomaron muestras de agua en viales de 20 mL por triplicado. La concentración de cél/mL se cuantificó por medio de un contador de partículas (Multisizer 4 de Beckman Coulter). Lo anterior se llevó a cabo para ambos

grupos de organismos (experimentales y control). La tasa de ingestión tiene unidades de  $10^5$  cél/gramo de peso seco/h) y se calcula de la siguiente forma:

Tasa de Ingestión = Consumo de alimento (células) x flujo (mL/h) / Peso de tejido seco (g).

La tasa de excreción fue evaluada cada 24 horas. Para ello, cada cámara se abrió y todas las heces producidas por las almejas fueron extraídas por succión por medio de una pipeta plástica de 10 mL. Posteriormente una porción de las heces se concentraron, por medio de un sistema de filtración al vacío, en filtros de fibra de vidrio de 1  $\mu$ m previamente tarados a peso constante. Las heces se lavaron en el mismo sistema de filtración con una solución de formiato de amonio al 3 % para eliminar las sales. Posteriormente los filtros se pesaron para obtener el peso de los filtros con la materia orgánica más la materia inorgánica, usando una estufa a 65 °C, un desecador y una ultrabalanza. Después, los filtros se incineraron en una mufla a 450 °C durante 12 horas para eliminar la materia orgánica y nuevamente fueron llevados a peso constante. Con la información obtenida fue posible estimar a eficiencia de absorción estimada por el método de Conover (1966) que relaciona la proporción entre el contenido de materia orgánica e inorgánica en muestras de alimento y heces mediante la siguiente fórmula:

$$EA = (F - E) / (1 - E) F$$

donde EA es la eficiencia de absorción; E es el contenido de materia orgánica en heces; y F es el contenido de materia orgánica en el alimento.

Por otra parte, la tasa de absorción fue estimada por medio de la siguiente fórmula:

$$TA = EA * TI$$

donde TA es la tasa de absorción; EA es la eficiencia de absorción; y TI es la tasa de ingestión.

## **6.8 Análisis de resultados**

Para todos los tratamientos se realizó un ANOVA para conocer si existían diferencias significativas entre el tratamiento constante y oscilante en cada estación, tanto en la respuesta aguda como en la crónica. También se evaluaron entre estaciones las diferencias entre patrones estables y oscilantes, en las dos respuestas aguda y crónica. En el caso de existir diferencias significativas en el ANOVA, se realizaron pruebas a *posteriori* de Tukey. Todos los análisis se hicieron al 95 % de confianza ( $\alpha=0,05$ ).

## 7. Resultados

En la Figura 9 se muestran las temperaturas registradas a las que se mantuvieron los organismos desde su llegada al laboratorio (preaclimatación), el proceso de aclimatación (24°C) y la etapa experimental. En esta última, se pueden observar los regímenes térmicos de cada estación, usados como tratamientos.

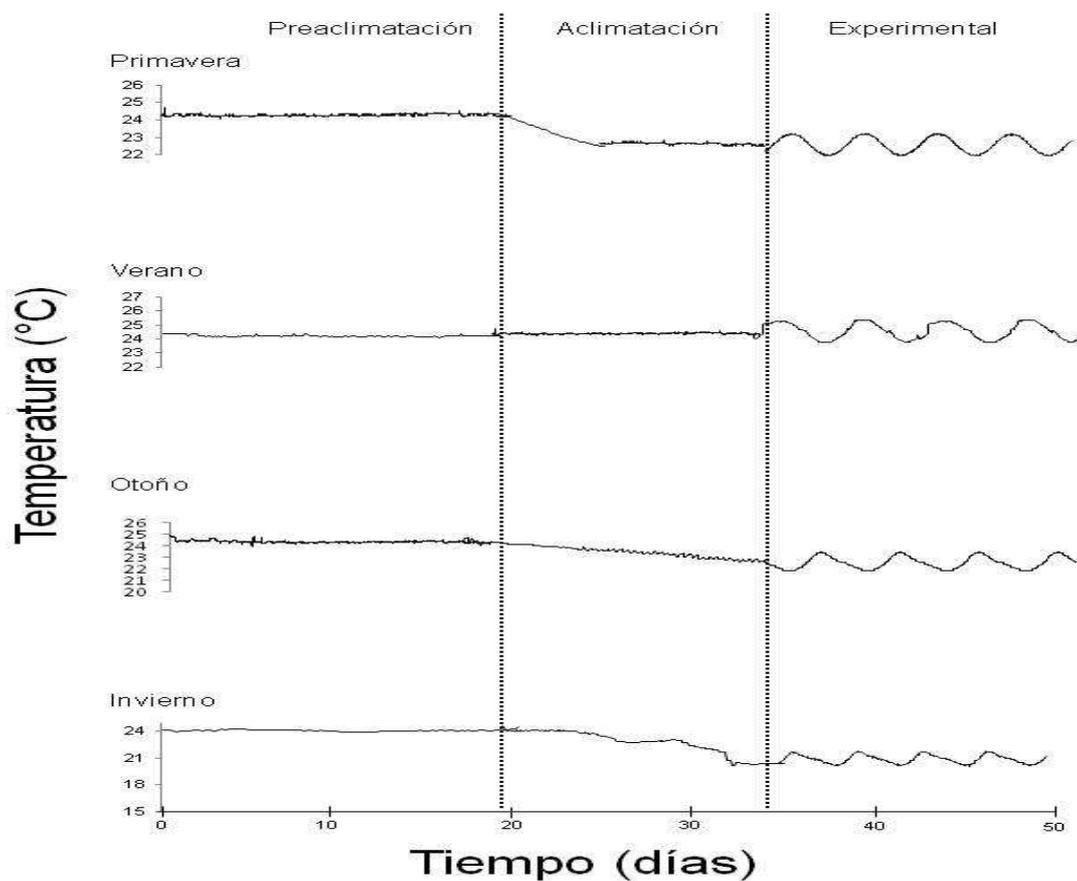


Figura 9. Registro de temperaturas de los patrones diurno-nocturno de cada estación con los que se llevaron a cabo los bioensayos en el presente trabajo.

En las Figuras 10 y 11, se muestran los resultados de la TI y TA, respectivamente, encontrados en organismos juveniles de mano de león, mantenidos a diferentes regímenes térmicos (constantes y oscilantes) emulando las estaciones de primavera, verano, otoño e invierno. Se puede observar también tanto la respuesta aguda (durante las primeras 96 horas) y la crónica (en un periodo mayor de 20 días). Los resultados numéricos de estas pruebas, más los valores de la EA se muestran en extenso en las tablas 2, 3 y 4 en ANEXO.

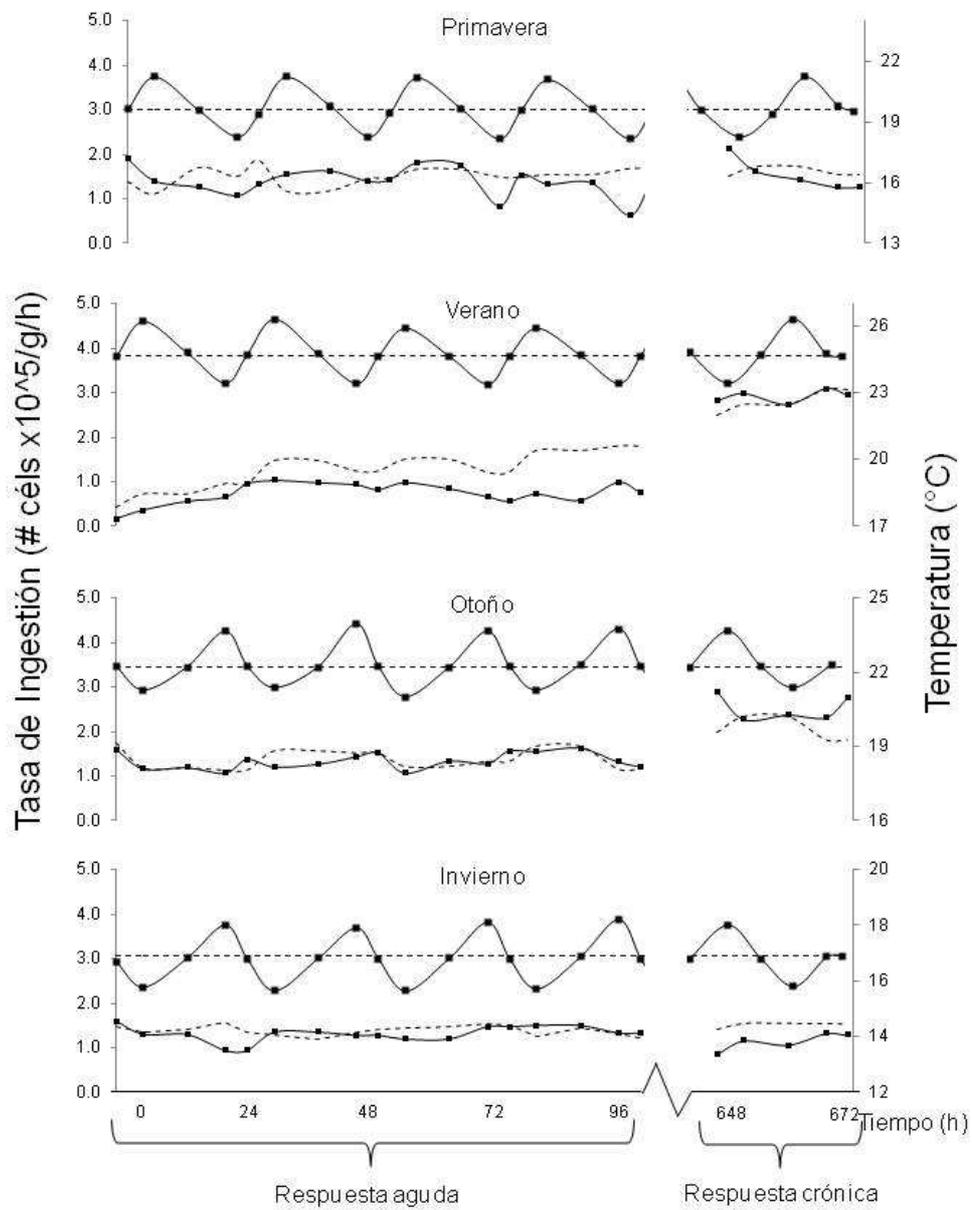


Figura 10. Tasa de Ingestión de organismos juveniles de *N. subnodosus* sometidos a diferentes regímenes de variación térmica. La línea punteada representa la temperatura constante y la línea continua representa la temperatura oscilante. Para la estación de verano la respuesta crónica fue de 456 a 480 horas.

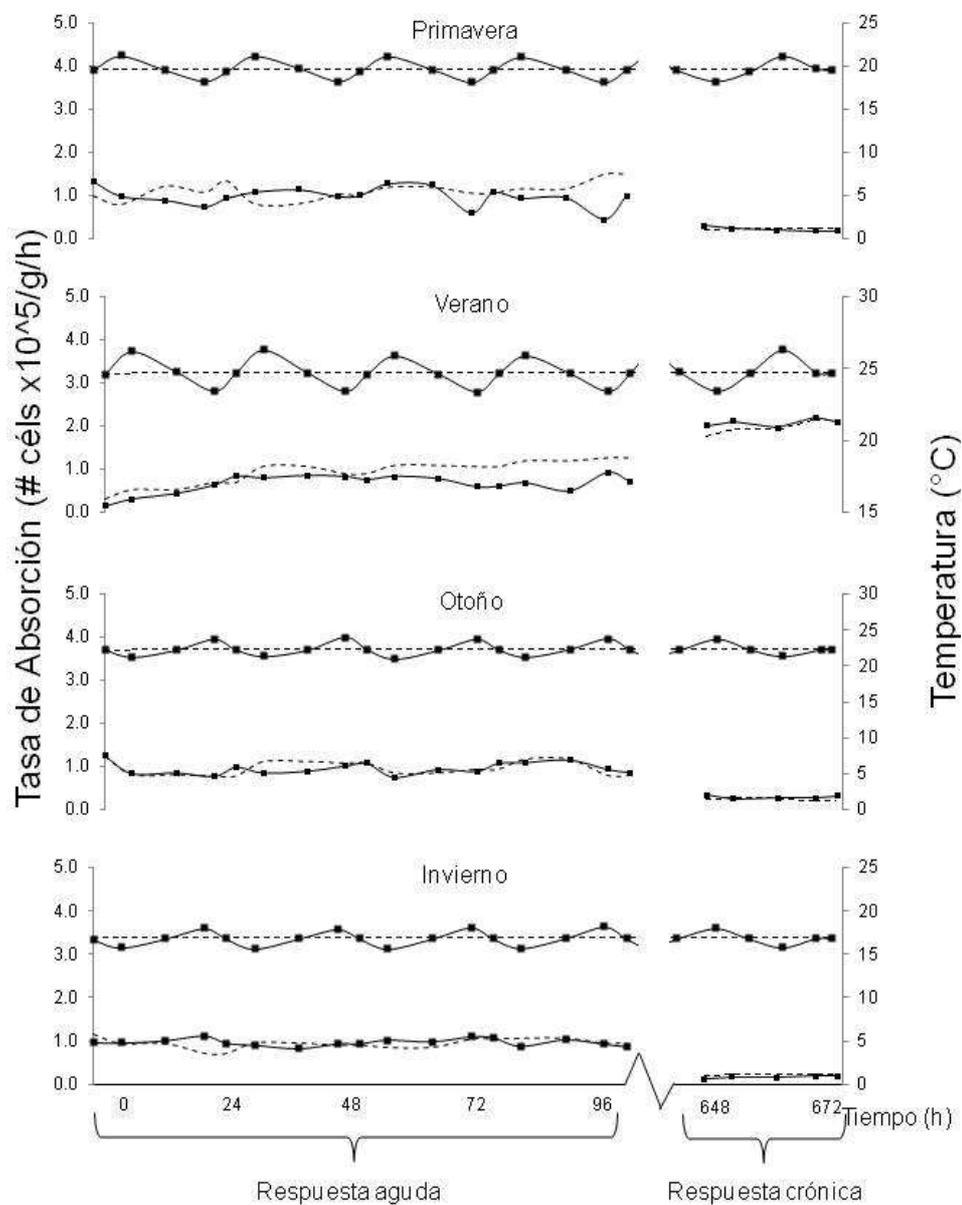


Figura 11. Valores de la Tasa de Absorción en organismos juveniles de *N. subnodosus* sometidos a diferentes regimenes de variación térmica. La línea punteada representa la temperatura constante y la línea continua representa la temperatura oscilante. Para la estación de verano la respuesta crónica fue de 456 a 480 horas.

Tabla 1. Resultados de los ANOVAS aplicado a la tasa de ingestión (# céls x 10<sup>5</sup>/g/h), eficiencia de absorción (%) y tasa de absorción (# céls x 10<sup>5</sup>/g/h), en organismos juveniles de *N. subnodosus*, sometidos a diferentes regímenes de oscilación térmica. Se comparan las respuestas entre regímenes, estaciones y respuestas (aguda y crónica). Círculos negros indican que no hubo diferencia y los blancos que si la hubo. (Los resultados en extenso pueden verse en ANEXO, Tabla 2).

		Tasa de Ingestión							
Respuesta	Primavera		Verano		Otoño		Invierno		
	Estable	Oscilante	Estable	Oscilante	Estable	Oscilante	Estable	Oscilante	
Aguda	1.51	● 1.38	1.13	● 0.91	1.38	● 1.33	1.34	● 1.37	
Crónica	● 1.60	■ 1.49	○ 2.79	■ 2.92	○ 1.97	○ 2.46	● 1.50	○ 1.13	
		Eficiencia de Absorción							
Aguda	0.711	● 0.710	0.712	● 0.711	0.709	● 0.711	0.702	● 0.704	
Crónica	● 0.708	○ 0.716	● 0.702	● 0.711	● 0.702	○ 0.684	● 0.696	● 0.699	
		Tasa de Absorción							
Aguda	1.09	● 0.97	0.81	○ 0.65	0.97	● 0.95	0.94	● 0.96	
Crónica	● 1.13	■ 1.13	○ 1.95	■ 2.08	○ 1.37	○ 1.69	● 1.04	○ 0.80	

### **7.1. Tasa de Ingestión**

Durante la respuesta aguda, al comparar los organismos sometidos a temperatura estable contra los sometidos a la oscilante en todas las estaciones del año, la tasa de ingestión (TI) no muestra diferencias significativas en ningún caso. Sin embargo, en la respuesta crónica durante el otoño e invierno, la TI de los organismos estables fue diferente a la de los oscilantes. En los organismos sometidos a temperatura estable, al observar la respuesta aguda contra la crónica, se observó que para todas las estaciones, la TI se incrementó en el tiempo, pero solo en verano y otoño se encontraron diferencias significativas.

Cabe resaltar que en la estación de verano, la tasa de ingestión aumentó más de dos veces en el tratamiento crónico comparado con el agudo. De forma similar, en los organismos sometidos a oscilaciones térmicas, los valores de TI fueron mayores en la respuesta crónica que en la aguda, a excepción del invierno en la que los organismos se alimentaron menos. Las diferencias fueron significativas en verano, otoño e invierno y el incremento de la TI de los organismos de verano fue tres veces mayor.

Al comparar los resultados de TI en condiciones estables entre estaciones, los análisis mostraron que en el verano la tasa disminuyó significativamente con respecto a la primavera. En la respuesta crónica, el incremento de la TI en verano fue distinto al de las demás estaciones. Para los organismos mantenidos en oscilaciones térmicas, en la respuesta aguda la TI fue menor que durante las demás estaciones, y en la respuesta crónica la TI fue notoriamente mayor que en las demás estaciones (todas éstas diferentes).

### **7.2 Eficiencia de Absorción**

Los valores de EA observados en organismos sometidos a temperaturas estables contra oscilantes, tanto en la respuesta aguda contra la crónica, no muestran diferencias significativas. En los organismos sometidos al tratamiento estable, entre

la respuesta aguda y crónica, todos los valores disminuyeron, mayormente en el invierno. Sin embargo, no se presentaron diferencias significativas en ningún caso. Para los organismos mantenidos al tratamiento oscilante, la EA se incrementó en el tratamiento crónico para la primavera pero se mantuvo igual en el verano y disminuyó sustancialmente en el otoño.

La EA de los organismos sometidos a temperaturas estables en la respuesta aguda se observó que la EA para la estación de invierno fue menor y significativamente distinta a la primavera y verano. En el caso de los organismos sometidos a oscilaciones térmicas en la respuesta aguda, mostraron que la EA de los organismos mantenidos en el invierno fue comparativamente menor a las demás estaciones. Durante la respuesta crónica, a pesar de las diferencias observadas en organismos al tratamiento estable como los mantenidos a temperaturas oscilantes, no se detectaron diferencias significativas.

### **7.3 Tasa de Absorción**

Durante la respuesta aguda, al comparar los valores de TA entre los organismos sometidos al tratamiento estable contra el tratamiento oscilante, se observó que para todas las estaciones, a excepción de invierno, los organismos mantenidos a oscilaciones térmicas disminuyeron su TA, pero las diferencias solo fueron significativas en el verano. Durante la respuesta crónica, la TA fue mayor en los organismos sometidos a oscilaciones térmicas de verano y otoño, con diferencias significativas sólo para el otoño. De manera contraria, durante la estación de primavera la TA fue igual en organismos sometidos a temperatura estable como oscilante y para la estación de invierno la TA fue menor en organismos mantenidos en el régimen oscilante, con diferencias significativas sólo en el invierno.

Los organismos sometidos a temperatura estable para todas las estaciones incrementaron su TA en la respuesta crónica contra la aguda, pero sólo se presentaron diferencias en el verano y en el otoño. En los organismos mantenidos en el régimen oscilante, para todas las estaciones, la TA se incrementó en la respuesta

crónica, a excepción del invierno y en todos los casos hubo diferencias significativas, excepto en la primavera.

Al comparar los valores de TA entre estaciones, para la respuesta aguda, los organismos mantenidos a temperaturas estables disminuyeron la TA y esta fue diferente en relación a la primavera. Para los organismos oscilantes, el descenso de la TA en organismos mantenidos en la estación de verano fue notablemente mayor y significativamente distinta a todas las demás estaciones. En la respuesta crónica, de manera contraria, los organismos de verano y otoño en ambos regímenes, incrementaron su TA. En el caso de los estables, la TA de los organismos de verano fue distinta a las demás, y fue igual entre otoño y primavera y entre invierno y primavera. Para los organismos oscilantes la TA de verano fue mayor, seguida de la de otoño, primavera y por último la de invierno. Todas tuvieron diferencias significativas.

#### **7.4 Peso de tejido seco**

En la Figura 12 se muestran los valores del peso de tejido seco de las almejas mano de león, sometidos a temperatura estable y oscilante, tanto en la respuesta aguda como la crónica, para todas las estaciones (los valores numéricos en extenso se pueden observar en la Tabla 5 en ANEXOS).

Los análisis indicaron que en la respuesta aguda no se presentaron diferencias. En el caso de los pesos de tejido seco en la respuesta crónica, se observó que los organismos de verano presentaron valores menores, pero tampoco hubo diferencias significativas.

Así mismo, se realizaron análisis contrastando el régimen, la estación, la respuesta aguda o crónica y se demostró que el peso de los organismos sometidos a temperatura estable en la respuesta aguda fue mayor comparado con organismos sometidos a oscilaciones térmicas. Lo mismo ocurrió con los valores de la respuesta crónica. En los organismos sometidos a temperatura estable, los pesos secos fueron

mayores que aquellos sometidos a oscilaciones térmicas. Cabe señalar que los organismos del régimen térmico de verano el valor de peso seco fue el menor comparado con las otras estaciones, sin embargo el ANOVA no mostró diferencias significativas.

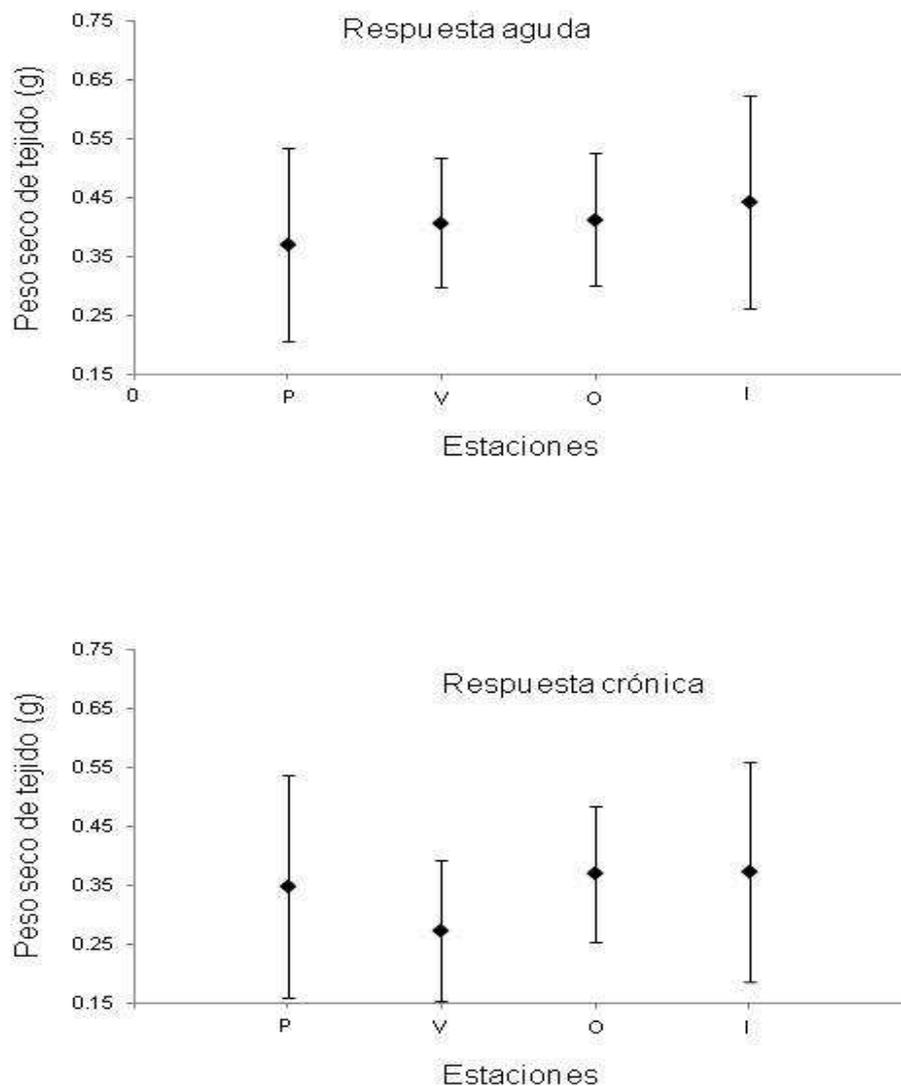


Figura 12. Valores del peso seco de tejidos de juveniles *N. subnodosus* sometidos a temperatura estable y oscilante, tanto en la respuesta aguda como crónica de todos los regímenes térmicos.

## 8.0 DISCUSIÓN

El desarrollo del presente estudio fue posible gracias a dos elementos fundamentales: 1) los registros de alta frecuencia que reflejan las condiciones reales a las que se ven sometidos los organismos a lo largo de un año promedio; y 2) a la capacidad de simulación de estas condiciones a través del sistema de control SITMAM, que permitió operar por periodos largos de manera continua. Esta capacidad es particularmente relevante dado que, como se mencionó, son muy pocos los estudios que se realizan bajo condiciones oscilantes y menos aun los que simulan condiciones similares a las del medio natural.

Las observaciones de las tasas fisiológicas en los bioensayos realizados para el presente estudio, indicaron que en las diferentes estaciones del año, regímenes térmicos (constante y oscilante) y tipos de respuestas (aguda y crónica), las tasas fisiológicas que mayormente se modificaron fueron la de ingestión y la de absorción.

En este trabajo se esperaba que la TI mostrara un cambio compensatorio al comparar la respuesta aguda y crónica. Winter (1973), trabajó con bivalvos expuestos a temperaturas estables y observó que la tasa de alimentación depende de la concentración de partículas y puede mantenerse constante si esta no cambia. Varios autores apoyan esta observación Schulte, (1975; Bayne & Newell, 1983). Específicamente con pectínidos, Palmer (1980) observó que al ofertar distintas cantidades de alimento de forma constante, *Argopecten irradians* se porta como un consumidor continuo. Navarro *et al.* (2000) estudiaron el efecto sinérgico de dieta y temperatura durante el acondicionamiento reproductivo de *A. purpuratus*. Encontraron que esta especie tiene la capacidad de aclimatar (compensar) sus tasas fisiológicas dentro de un cierto rango de temperatura. López-Sánchez (2003), trabajando a diferentes oscilaciones térmicas con *N. subnodosus*, observó que este organismo también se comportaba como un filtrador continuo.

El presente trabajo parece contradecir estas observaciones, ya que los organismos fueron mantenidos a una concentración de partículas constante. Sin embargo, es posible que los cambios en las amplitudes y/o frecuencias de las variaciones térmicas pudieran estar relacionados con la capacidad de adquisición de energía de los organismos: López-Sánchez (2003) probó amplitudes mayores (4°C), y encontró que los organismos compensaron sus TI, mientras que en este estudio las amplitudes fueron de alrededor de 2°C para los tratamientos de verano, otoño e invierno y de 3°C para la primavera. Y fue precisamente en primavera, en la mayor amplitud probada, donde se observó que los organismos compensaron la TI. Un hecho que apoya esto, es que López-Sánchez (2009), trabajando con la misma especie observó que organismos sometidos a oscilaciones térmicas de baja amplitud, incrementaron su peso corporal en contraste con los mantenidos a oscilaciones térmicas de alta amplitud.

Por otra parte, al inicio del tratamiento (respuesta aguda), en el verano, tanto en el régimen constante como el oscilante, la TI disminuyó significativamente a niveles por debajo de los registrados para las otras estaciones. De manera contraria en el tratamiento crónico la TI se incrementó significativamente observándose valores más altos en relación a las otras estaciones. Esto puede explicarse por el alto costo energético que enfrentan los organismos en las temperaturas de verano (Sicard, 2006) cuando se salen de su zona de confort térmico (González-Estrada, 2003) y requieren adquirir mayor energía para subsistir. En este trabajo, lo anterior parece estar apoyado por la observación de que los organismos sometidos a las oscilaciones de verano, presentaron mayor mortalidad. Así mismo, estos organismos tuvieron menor peso corporal, aunque no se presentaron diferencias significativas con las otras estaciones, probablemente debido a que la mortalidad incidía en las tallas menores.

Por otra parte, se observó que los cambios en la TA fueron muy similares a los de la TI. Los análisis mostraron diferencias significativas para el verano, otoño e invierno, incrementándose en los dos primeros y disminuyendo en el último. Winter (1978)

describe la habilidad de ciertos bivalvos para regular su tasa de TA, sin embargo estos cambios los relacionó con variaciones de la concentración de alimento. Por otra parte, Widdows (1976), encontró que tanto la TA como la tasa respiratoria de *Mytilus edulis*, presentan un alto grado de independencia a la temperatura después de un periodo de aclimatación tanto a regímenes térmicos constantes como oscilantes.

En el presente trabajo, de forma contraria, se observó una dependencia en relación a los cambios térmicos. Particularmente, los mayores incrementos se presentaron durante el verano, donde los organismos permanecieron a oscilaciones entre 23.3 °C a 25.9 °C. González-Estrada (2003), observó que la temperatura óptima de crecimiento para esta especie es de 22 °C y que su límite de tolerancia está en 28.1°C, por lo que las oscilaciones de verano, salen de la temperatura óptima y se aproximan a su límite de tolerancia, provocando una mayor demanda metabólica (Sicard, 2006).

Prácticamente los valores de la EA no mostraron diferencias en los organismos sometidos tanto a temperatura estable como oscilante, en la respuesta aguda y en la crónica para todas las estaciones. Son pocos los estudios que hablan sobre la EA, Thompson y Bayne (1974), observaron que la EA decrece al aumentar la concentración de partículas, sugiriendo que la TI y la EA pueden estar inversamente relacionadas. Según Widdows *et al.* (1979) esta relación puede ser explicada por la respuesta funcional de los sistemas de alimentación y de digestión frente al aumento de la concentración de partículas en el medio. Cuando existe una baja concentración, todo el material filtrado por las branquias es ingerido y transportado hacia el estómago y la glándula digestiva para su digestión. Parte de este alimento es absorbido y el material restante pasa al intestino, de donde es eliminado como material con un alto grado de absorción y constituyendo las heces glandulares (Thompson & Bayne, 1972; Bayne & Newell, 1983). Sin embargo cuando el organismo se expone a grandes concentraciones de alimento, la glándula digestiva no es capaz de procesar y absorber todo el material que ingresa al estómago, el

exceso de material no pasa por la glándula digestiva y es transportado al intestino de donde es eliminado como heces intestinales que se caracterizan por mostrar un bajo grado de absorción (Van Weel, 1961).

Por otra parte, se han observado cambios en la eficiencia de absorción asociados con la calidad de alimento. Navarro *et al.* (1994), mostraron que un aumento de la calidad de alimento maximiza la ganancia de energía a través de una optimización de las diferentes tasas fisiológicas (TA, TI y EA). Farías *et al.* (1997) por su parte, suministraron microalgas con diferentes concentraciones de proteínas a reproductores de *Argopecten purpuratus*. Y encontraron que la EA aumentó de 62.6% en una dieta normal con microalgas hasta valores de 83.9 % cuando se suministró una dieta con alto contenido proteico. MacDonald *et al.* (1998), observaron que en *Placopecten magellanicus* y *Mya arenaria*, la EA no fue significativamente diferente entre almejas y vieiras. En ambas especies la EA se observó independiente de la concentración y aumentó a medida que la fracción orgánica del seston se incrementó.

Navarro *et al.* (2000), estudiaron el efecto combinado de la dieta y la temperatura sobre la fisiología energética de *A. purpuratus*. Sus resultados mostraron una mayor EA con dietas de microalgas y con aquellas suplementadas con una emulsión lipídica. Estos autores demostraron también que cuando la calidad de alimento fue buena, la EA se mantuvo independientemente de la temperatura. Sin embargo, cuando la calidad de alimento no abastecía la demanda de los organismos, se presentaron cambios en la EA relacionados con la temperatura.

En el presente trabajo se planteó la hipótesis de que la EA fuera mayor en condiciones cambiantes de temperatura con respecto a condiciones constantes, sin embargo, esto sólo sucedió parcialmente. Esta hipótesis fue basada en dos premisas, los cambios compensatorios de la TI que observó López-Sánchez (2003) en relación a las variaciones térmicas, y 2) Sicard (2006) observó incrementos en el peso de los organismos sometidos a oscilaciones térmicas en relación a los

sometidos en tratamientos constantes. A pesar de que estas premisas parecen no concordar, es posible que las observaciones hechas por Sicard (2006) sean el reflejo de que las variaciones específicas de temperatura en cuanto a la amplitud y frecuencia, que son distintas a las que se usaron en este trabajo, y por lo tanto no pueden ser extrapolables a otros tratamientos.

Cabe remarcar que ya que la TA es reflejo de la TI, sobre todo si la EA no se modifica, entonces modificaciones mínimas de la EA se verán reflejadas en la TA. Este hecho se pone de manifiesto en la comparación entre estaciones. Los organismos de invierno disminuyeron significativamente su EA en relación con los de verano. La disminución significativa de la TA en el invierno, se debe a que a estas temperaturas (15.7 °C - 18.0 °C) los organismos mantienen tasas metabólicas muy bajas (Sicard, 2006), por lo que no requieren mayor ingreso de energía, en contraste con lo que sucede en el verano.

## **9.0 CONCLUSIONES**

De las tasas fisiológicas analizadas de los organismos sometidos a temperaturas en las diferentes estaciones del año, la tasa de ingestión y la tasa de absorción fueron las que se modificaron significativamente, con implicaciones en la adquisición de energía.

La eficiencia de absorción no se modificó entre tratamientos, sin embargo, al menos en dos casos, sí se presentaron diferencias de la eficiencia de absorción y sobre todo entre estaciones. Esto puede estar relacionado con la demanda metabólica.

Las diferencias en las tasas fisiológicas entre el tratamiento constante y oscilante de una misma estación depende en gran medida de la amplitud y de qué tanto estén alejados los organismos de sus rangos óptimos: mientras más alejados estén de estos, mayor será el grado de afectación.

En el tratamiento de verano, los organismos tuvieron una demanda energética mayor, esto se vio reflejado en que tuvieron tasas fisiológicas diferentes con respecto a las otras estaciones. Así mismo los organismos de invierno marcaron diferencias con el verano.

En este trabajo los juveniles de almeja mano de león no mostraron una compensación en la tasa de ingestión en función a los cambios de temperatura.

## 10. LITERATURA CITADA

Águila-Ramírez, D. 1998. Eficiencia en captura de camarón con dispositivos excluidores de tortugas marinas operadas en redes de arrastre de la flota comercial camaronera del Golfo de México, durante febrero de 1992 a julio de 1993. Tesis de maestría, UNAM, México. 47 p.

Bayne, B. L. 1976. Marine mussels: their ecology and physiology. Cambridge University Press. U.K.

Bayne, B. L & R. C. Newell. 1983. Physiological energetic of marine molluscs. pp. 407-515. *En*: A.S.M. Saleuddin & K.M. Wilbur (eds). The Mollusca. 4. Academic Press, N.Y.

Bernabé, G. 1991. Acuicultura. Vol. 1. Ediciones Omega. España. 478 pp. Blanchard M, Gros P. 1993. Estimation of matter fluxes generated by filter-feeding bivalves in the intertidal area of the Bay of Saint-Brieuc (Western Channel). *Oceanol. Acta*16:5-6.

Brand, A. R. 1991. Scallop ecology: distribution and behaviour. pp. 517-584. *En*: S.E. Shumway (ed.). *Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture*. Elsevier, Amsterdam

Bricelj, V. M & S. Shumway. 1991. Physiology: Energy acquisition and utilization. *En*: S. E. Shumway (Ed). *Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture*. Elsevier, Amsterdam. 305-376 pp.

Conover, R. J. 1966. Assimilation of organic matter by zooplankton. *Limnology and Oceanography*. 11:338-345.

Contreras, E. F. 1993. Ecosistemas Costeros Mexicanos. 1era. Ed. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, 415 p.

Diana, S. J. 1984. The growth of large mouth bass, *Micropterus salmoides* (Lacepede), under constant and fluctuating temperatures. *J. Fish Biol.* 24: 165- 172

Farías, A., I. Uriarte & P. Varas. 1997. Estudio de los requerimientos nutricionales de ostión del norte *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) durante el acondicionamiento reproductivo. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 32:127-136.

García-Pámanes, L., F. García-Pámanes., G. Chi-Barragan., G. Pares-Sierra., J. García-Pamares., O. Medina-Hurtado & F. Núñez-Cebrero. 1994. Desarrollo de tecnología para el cultivo integral de la almeja mano de león *Lyropecten subnodosus*. Resúmenes del Primer Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar, San Carlos Guaymas, Sonora (17 y 19 de noviembre) SEP/SEIT, Unidad de Educación en Ciencia y Tecnología del mar (México), 31 pp.

González-Estrada, F. 2003. Temperaturas letales y temperatura optima para crecimiento en una población de almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus* Sowerby, 1835). Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B. C. S., México.

Harty, D. R & A. S. Chute. 2004. Essential Fish Habitat Source Document: Sea scallop, *Placopecten magellanicus*, Life history and habitat characteristics. Second Edition. NOAA Technical Memorandum NMFS-NE 189-32 pp.

Hickey, D. A & Singer, G. A. 2004. Genomic and proteomic adaptations to growth at high temperature. *Genome Biol.*, 5, 117.

Keen, A. M. 1971. Sea Shells of Tropical West America. 2<sup>nd</sup> . Edition. Stanford University Press. Stanford, California. 1064 p.

Kinne, O. 1970. Temperature invertebrates. En: Marine Ecology, 1(1), Wiley-Interscience. London. 407-514.

López-Sánchez, J. A. 2003. Tasa de filtración y aclaramiento en la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus* Sowerby, 1835) a dos tallas, en función de la temperatura y cantidad de alimento. Tesis de maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, B.C.S, México.

López-Sánchez, J. A. 2009. Temperatura y monoaminas en la actividad reproductiva de la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus* Sowerby, 1835). Tesis de doctorado, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, B.C.S, México.

Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, D. B., Lluch-Cota, S. E. 2003a. The temperate-tropical eastern Pacific ecotone: Baja California's biological transition zones. Journal of Oceanography 59: 503-513.

Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, D. B., Lluch-Cota, S. E. 2003b. Interannual variability impacts on the California Current Large Marine Ecosystem. En: Large Marine Ecosystems of the World: Trends in Exploitation, Protection and Research. (ed. by G. Hempel & K. Sherman). 195-226. Elsevier, Amsterdam  
Kinne O. 1970. Temperature invertebrates. En: Marine Ecology, 1(1), Wiley-Interscience. London. 407-514.

Lluch-Cota, D. B., Wooster, W. S., Hare, S. R. 2001. Sea surface temperature variability in coastal areas of the northeastern Pacific related to the El Niño - Southern Oscillation and the Pacific Decadal Oscillation. *Geophysical Research Letters* 28: 2029-2032.

MacDonald, Bruce. A., Bacon, Gregory. S & Ward. J. Evan. 1998. Physiological responses of infaunal (*Mya arenaria*) and epifaunal (*Placopecten magellanicus*) bivalves to variations in the concentration and quality of suspended particles. II. Absorption efficiency and scope for growth. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 219 (1998) 127-141.

Maeda-Martínez, A. N. 2001. Los moluscos Pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura. Editorial LIMUSA, México. 501 pp.

Maeda-Martínez, A. N., Lodeiros-Seijo C. 2009. Biología y Cultivo de los Moluscos Pectínidos del Genero *Nodipecten*. Cp. 3, 27-58.

Massó-Rojas, J. A. 2000. La Almeja mano de león. En: Sustentabilidad y pesca responsable. Ediciones Semarnat. P 349-367.

Navarro, E., J.I.P. Iglesias, M.M. Ortega & X. Larretea. 1994. The basis for a functional response to variable food quantity and quality in cockles *Cerastoderma edule* (Bivalvia: Cardiidae). *Physiological Zoology* 67:468-496.

Navarro, J. M., G.E. Leiva., G. Martínez & C. Aguilera. 2000. Interactive effects of diet and temperature on the scope for growth of the scallop *Argopecten purpuratus* during reproductive conditioning. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 247:67-83.

Navarro, M. J. 2001. Fisiología energética de Pectínidos Iberoamericanos, 61-67 pp.

En Maeda-Martínez A. N. (ed), Los Moluscos Pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Desarrollo. Limusa Noriega editores. México.

Palmer R.E. & L.G. Williams. 1980. Effect of particle concentration on filtration efficiency of the bay scallop *Argopecten irradians*, and the oyster *Crassostrea virginica*. *Ophelia*. 19 (2): 163-174 pp.

Pilditch, C. A., Grant, J. 1999. Effects of temperature fluctuations and food supply on the growth and metabolism of juvenile sea scallops (*Placopecten magellanicus*). Springer-Verlag. *Marine Biology*. 134: 235-248.

Ponce-Díaz, G., Lluch-Cota, S., Bautista-Romero, J., Lluch-Belda, D. 2003. Caracterización multi escala de la temperatura del mar en una zona de bancos abuloneros en Bahía Asunción, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas*. 29(3):291-303.

Ponce-Díaz, G., Masso-Rojas, A., Félix- Pico, E., Morales-Zarate, M. V. García, N. Lodeiros, C & Lluch-Cota, S. E. 2009. Biología y Cultivo de los Moluscos Pectínidos del Genero *Nodipecten*. Alfonso N. Maeda-Martínez y Cesar Lodeiros-Seijo (eds). Cap. 2, 11-26. *Nodipecten spp.* Como recurso pesquero.

Ramírez, J. L., S. Ávila & A. M. Ibarra. 1999. Optimization of forage in two-food-filtering organisms with the use of a continuous, low-food concentration, agricultural drip system. *Aquacultural Engineering* 20:175-189.

Rupp, G. S., R. J. Thompson & G. J. Parsons. 2004. Influence of food supply on postmetamorphic growth and survival of hatchery produced Lion's Paw scallop *Nodipecten nodosus* (Linnaeus, 1758). *Journal of Shellfish Research* 23:5-13.

Rupp, G. S & C. R. Poli. 1994. Spat production of the sea scallop *Nodipecten nodosus* (Linnaeus, 1758), in the hatchery: initial studies in Brazil. In: N.F. Bourne, B. L. Bunting & L.D. Townsend. *Proceedings of the 9th International Pectinid Workshop*, Nanaimo, B.C. Canada, April 22–27, 1993. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1994: 91–96.

Sánchez, A. Rosas., C. Latourneire, J., Espina, S. 1984. Influencia de diferentes regímenes de temperatura sobre la asimilación, conversión alimenticia y eficiencia de crecimiento de la tilapia roja (*Sarotherodon mossambicus*). *Rev. Lat. Acui.* 22: 15 – 36.

Schulte E.H. 1975. Influence of algal concentration and temperature on the filtration rate of *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.* 30(4): 331-341 pp.

Sicard, G. M. T. 2006. Efecto de la oscilación térmica en la fisiología de la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus* Sowerby, 1835). Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Monterrey, México.

Sicard, G. M. T., Maeda-Martínez, A.N., Villegas-Carrasco, C., Félix-Domínguez, J. E., Iriarte-Cornejo, C. Barraza-Tapia, J. R & Bautista-Romero, J. J. An automatized simulator of stable and fluctuating temperatures, for long-term laboratory flow-trough experiments. (sometido).

Thompson, R .J & B. L. Bayne. 1972. Active metabolism associated with feeding in the mussel *Mytilus edulis* L. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 8:191-212.

Thompson R.J. y B.L. Bayne, 1974. Some relationships between growth, metabolism and food in the mussel *Mytilus edulis*. *Marine Biology* 27:317–326.

Van Weel, P.B. 1961 The comparative physiology of digestion in molluscs. *Am. Zool.* 1:245-252.

Warren, C. E., Davis, G. E. 1967. Laboratory studies on the feeding, bioenergetics, and growth of fish. In: *The Biological Basis of Freshwater Fish Production* (ed.S.D. Gerking). Blackwell Scientific Publications. Oxford pp. 175-214.

Widdows, J., P. Fieth & C. M. Worrall. 1979. Relationships between seston, available food and feeding activity in the common mussel *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.* 50:195-207.

Widdows, J. 1976. Physiological adaptation of *Mytilus edulis* to cyclic temperatures. *J. Comp. Physiol.* 105: 115-128

Winter J.E. 1973. The filtration rate of *Mytilus edulis* and its dependence on algal concentration, measured by a continuous automatic apparatus. *Mar. Biol.* 22: 317-328 pp.

Winter J.E. 1978. A review on the knowledge of suspension-feeding in lamellibranchiate bivalves, with special reference to artificial aquaculture systems. *Aquaculture.* 13: 1-33 pp.

## 11. ANEXOS

Tabla 2. Valores de la Tasa de Ingestión (TI) (# céls x 10<sup>5</sup>/g/h), en organismos juveniles de *Nodipecten subnodosus* de 3.36 ± 0.40 cm de longitud, sometidas a temperatura estable y oscilante en la respuesta aguda y crónica de todas las estaciones.

Respuesta	Régimen Térmico	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
		$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$
<b>Aguda</b>	Estable	1.51 ± 0.23	1.13 ± 0.46	1.38 ± 0.24	1.34 ± 0.19
	Oscilante	1.38 ± 0.32	0.91 ± 0.30	1.33 ± 0.18	1.37 ± 0.11

Respuesta	Régimen Térmico	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
		$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$
<b>Crónica</b>	Estable	1.60 ± 0.11	2.79 ± 0.28	1.97 ± 0.28	1.50 ± 0.07
	Oscilante	1.49 ± 0.37	2.92 ± 0.14	2.46 ± 0.28	1.13 ± 0.19

Tabla 3. Valores de la Eficiencia de Absorción (EA) (%), en organismos juveniles de almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) de  $3.36 \pm 0.40$  cm de longitud, sometidas a temperatura estable y oscilante en la respuesta aguda y crónica de todas las estaciones.

Respuesta	Régimen Térmico	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
		$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$
<b>Aguda</b>	Estable	$0.711 \pm 01$	$0.712 \pm 0.00$	$0.709 \pm 0.00$	$0.702 \pm 0.01$
	Oscilante	$0.710 \pm 0.00$	$0.711 \pm 0.00$	$0.711 \pm 0.01$	$0.704 \pm 0.01$
Respuesta	Régimen Térmico	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
		$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$
<b>Crónica</b>	Estable	$0.708 \pm 01$	$0.702 \pm 0.01$	$0.702 \pm 0.01$	$0.696 \pm 0.01$
	Oscilante	$0.716 \pm 0.01$	$0.711 \pm 0.00$	$0.684 \pm 0.02$	$0.699 \pm 0.08$

Tabla 4. Valores de la Tasa de Absorción (TA) (# céls x 10<sup>5</sup>/g/h), en organismos juveniles de almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) de 3.36 ± 0.40 cm de longitud, sometidas a temperatura estable y oscilante en la respuesta aguda y crónica de todas las estaciones.

Respuesta	Régimen Térmico	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
		$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$
<b>Aguda</b>	Estable	1.09 ± 0.20	0.81 ± 0.32	0.97 ± 0.17	0.94 ± 0.12
	Oscilante	0.97 ± 0.23	0.65 ± 0.21	0.95 ± 0.14	0.96 ± 0.07

Respuesta	Régimen Térmico	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
		$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$
<b>Crónica</b>	Estable	1.13 ± 08	1.95 ± 0.20	1.37 ± 0.19	1.04 ± 0.05
	Oscilante	1.13 ± 0.26	2.08 ± 0.10	1.69 ± 0.21	0.80 ± 0.14

Tabla 5. Valores de peso seco de tejido de los organismos con los que se realizó el bioensayo, tanto de la respuesta aguda como la crónica a temperatura estable y oscilante en todos los regímenes térmicos.

Respuesta	Régimen Térmico	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
		$\bar{x} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$
<b>Aguda</b>	Estable	0.31 ± 0.04	0.40 ± 0.03	0.42 ± 0.03	0.38 ± 0.05
	Oscilante	0.42 ± 0.04	0.41 ± 0.03	0.45 ± 0.03	0.33 ± 0.05

Respuesta	Régimen Térmico	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
		$\bar{x} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$
<b>Crónica</b>	Estable	0.37 ± 0.06	0.31 ± 0.04	0.40 ± 0.03	0.40 ± 0.05
	Oscilante	0.31 ± 0.06	0.24 ± 0.03	0.32 ± 0.03	0.29 ± 0.05