

UNIVERSIDAD DEL MAR

Campus Puerto Ángel



Efecto de la temperatura de aclimatación sobre el metabolismo, termotolerancia y campo térmico metabólico de postlarvas y juveniles del langostino malayo *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879)

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el Título Profesional de
Ingeniero en Acuicultura

Presenta

Giovanni Nicolás Reyes

Director de tesis

M. en C. Juan Pablo Sánchez Ovando

Codirector de tesis

Dr. Alfredo Gallardo Collí

Ciudad Universitaria, Puerto Ángel, Oaxaca, México, 2025

Resumen

La temperatura es un factor abiótico crítico que influye en el desempeño fisiológico de especies de ectotermos de importancia acuícola, afectando su tasa metabólica, tolerancia térmica, crecimiento, reproducción, supervivencia y distribución. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la aclimatación térmica sobre el metabolismo, tolerancia térmica y campo térmico metabólico de postlarvas y juveniles de *Macrobrachium rosenbergii*. Para el estudio se usó un diseño experimental de dos factores: temperatura de aclimatación con cinco niveles (20, 23, 26, 29 y 32°C) y estadio de vida con dos niveles (postlarva y juvenil). Un total de 250 postlarvas fueron aclimatadas durante una semana a 20, 23, 26, 29 y 32°C \pm 1°C, y se procedió a evaluar las variables de respuesta: consumo de oxígeno, excreción de amoníaco, tolerancia térmica y campo térmico metabólico. Concluido el ensayo, las postlarvas se mantuvieron a 29°C hasta alcanzar el estadio juvenil. Posteriormente, se distribuyeron en las temperaturas de aclimatación y se mantuvieron durante 21 días, concluido este periodo se midieron las variables de respuesta. El consumo de oxígeno en postlarvas y juveniles aumentó con el incremento en las temperaturas de aclimatación, en un rango de 1.25 a 4.01 mg O₂ h⁻¹ g⁻¹ y 0.35 a 0.73 mg O₂ h⁻¹ g⁻¹, respectivamente. La excreción de amoníaco fue mayor en postlarvas que en juveniles en la mayoría de las temperaturas de aclimatación. Con respecto a los valores de razón atómica O:N, el principal sustrato metabólico para ambos estadios fueron los lípidos, aunque también pueden recurrir a proteínas y carbohidratos como fuente de energía. El ensayo indicó que las postlarvas y juveniles poseen una ventana térmica de 20 y 18°C, respectivamente. Las temperaturas óptimas para el mayor rendimiento fisiológico de las postlarvas fueron 26°C y 29°C para los juveniles. Se concluye que los estadios postlarva y juvenil de *M. rosenbergii* toleran un amplio rango de temperaturas, que va de los 12.5 a los 41.2°C conforme las pruebas de tolerancia térmica. Sin embargo, el mejor desempeño metabólico para postlarvas y juveniles ocurre a 26 y 29°C, respectivamente, por lo que para optimizar el cultivo de esta especie se recomiendan condiciones ambientales dentro de estos rangos de temperatura.

Palabras clave: Acuicultura, consumo de oxígeno, razón atómica, campo térmico metabólico, *Macrobrachium rosenbergii*, temperatura óptima.

Abstract

Temperature is a critical abiotic factor that influences the physiological performance of aquaculture-relevant ectothermic species, affecting their metabolic rate, thermal tolerance, growth, reproduction, survival, and distribution. The objective of this study was to determine the effect of thermal acclimation on metabolism, thermal tolerance, and thermal metabolic scope of postlarvae and juveniles of *Macrobrachium rosenbergii*. A two-factor experimental design was used: acclimation temperature with five levels (20, 23, 26, 29, and 32°C) and life stage with two levels (postlarva and juvenile). A total of 250 postlarvae were acclimated for one week at 20, 23, 26, 29, and 32°C \pm 1°C, and the following response variables were evaluated: oxygen consumption, ammonia excretion, thermal tolerance, and thermal metabolic scope. Upon completion of this trial, the postlarvae were maintained at 29°C until they reached the juvenile stage. They were then assigned to the acclimation temperatures and kept for 21 days, after which the response variables were measured. Oxygen consumption in postlarvae and juveniles increased with acclimation temperature, ranging from 1.25 to 4.01 mg O₂ h⁻¹ g⁻¹ and 0.35 to 0.73 mg O₂ h⁻¹ g⁻¹, respectively. Ammonia excretion was higher in postlarvae than in juveniles at most acclimation temperatures. With respect to the atomic O:N ratio values, lipids were the primary metabolic substrate for both stages, although proteins and carbohydrates could also be used as energy sources. The experiment indicated that postlarvae and juveniles possess a thermal window of 209 and 180°C², respectively. The optimal temperatures for the highest physiological performance were 26°C for postlarvae and 29°C for juveniles. It is concluded that the postlarval and juvenile stages of *M. rosenbergii* tolerate a wide temperature range, from 12.5 to 41.2°C according to the thermal tolerance assays. However, the best metabolic performance for postlarvae and juveniles occurs at 26 and 29°C, respectively; therefore, to optimize the culture of this species, environmental conditions within these temperature ranges are recommended.

Keywords: Aquaculture, oxygen consumption, atomic ratio, thermal metabolic scope, *Macrobrachium rosenbergii*, optimal temperature.

Dedicatoria

A mis padres, Laura y Margarito quienes fueron un pilar en mi formación académica y personal, y sobre todo por estar atrás de mí como soporte que nunca se rindió.

A mis docentes en general, por su tiempo de enseñanza en clases, pero con especial estima a Alejandra Torres Ariño, Leticia Sánchez Estudillo, Pablo Torres Hernández, Alfredo Gallardo Collí y Alfonso Cervantes Alcántara que no se limitaron a darme clases de la teoría en el aula, también me dieron lecciones de vida que llevaré conmigo.

A mis amistades que fueron un gran apoyo, convirtiéndose reiteradamente en una segunda familia que no me dejó solo, mostrando su apoyo en cada oportunidad que tenían.

A mi perrita Lassie, quien dejé en casa al emprender este viaje de conocimientos y formación, pero que sin importar el tiempo que tarde en regresar siempre espera mi visita y no se aparta de mi lado hasta el momento en que debo de emprender de nuevo el viaje.

Agradecimientos

Agradezco a mi *alma mater* la Universidad del Mar por estos años de formación que me han permitido consolidarme en lo académico preparándome al mismo tiempo para una etapa profesional.

Agradezco profundamente al CICESE, en especial al departamento de Biotecnología Marina por haberme becado, así como la confianza que me otorgaron para poder hacer uso de sus equipos e instalaciones y así poder concluir este capítulo en mi vida.

Agradezco también a mi director al M. en C. Juan Pablo Sánchez Ovando y codirector Dr. Alfredo Gallardo Collí por darme su apoyo en esta etapa de mi vida académica.

Un fuerte agradecimiento a los doctores Fernando Díaz y Denise Re, del CICESE, sin los cuales no hubiese tenido la oportunidad de concluir mi formación de una forma tan satisfactoria.

Índice

Resumen	ii
Abstract.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos	v
Índice de figuras	ix
1. Introducción	1
2. Antecedentes.....	4
3. Justificación	6
4. Hipótesis	6
5. Objetivos.....	7
General	7
Específicos.....	7
6. Material y métodos.....	7
6.1 Ubicación de la infraestructura para el desarrollo experimental.....	7
6.2 Obtención y mantenimiento de organismos	8
6.3 Diseño experimental.....	9
6.4 Sistema de recirculación y temperaturas de aclimatación (20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C).....	9
6.5 Proceso de aclimatación térmica de postlarvas y juveniles.....	10

6.6 Consumo de oxígeno de postlarvas y juveniles de <i>M. rosenbergii</i> aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C.....	11
6.7 Excreción de amoniaco de postlarvas y juveniles de <i>M. rosenbergii</i> aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C.....	14
6.8 Razón atómica O:N de postlarvas y juveniles de <i>M. rosenbergii</i> aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C.....	15
6.9 Tolerancia térmica y área de la ventana térmica de postlarvas y juveniles de <i>M. rosenbergii</i> aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C.....	15
6.10 Proxy de la temperatura óptima de postlarvas y juveniles de <i>M. rosenbergii</i> aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C, a través del campo térmico metabólico	17
6.11 Análisis estadístico.....	18
7. Resultados.....	19
7.1 Consumo de oxígeno de postlarvas y juveniles de <i>M. rosenbergii</i> aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C.....	19
7.2 Excreción de amoniaco de postlarvas y juveniles de <i>M. rosenbergii</i> aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C.....	20
7.3 Razón atómica O:N de postlarvas y juveniles de <i>M. rosenbergii</i> aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C.....	21
7.4 Tolerancia térmica y área de la ventana térmica de postlarvas y juveniles de <i>M. rosenbergii</i> aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C	22
7.5 Proxy de la temperatura óptima de postlarvas y juveniles de <i>M. rosenbergii</i> aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C, a través del campo térmico metabólico.....	25
8. Discusión	28
8.1 Consumo de oxígeno de postlarvas y juveniles de <i>M. rosenbergii</i> aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C.....	28

8.2 Excreción de amonio de postlarvas y juveniles de <i>M. rosenbergii</i> aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C.....	28
8.3 Razón atómica O:N de postlarvas y juveniles de <i>M. rosenbergii</i> aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C.....	29
8.4 Tolerancia térmica y área de la ventana térmica de postlarvas y juveniles de <i>M. rosenbergii</i> aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C.....	29
8.5 Proxy de la temperatura óptima de postlarvas y juveniles de <i>M. rosenbergii</i> aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C, a través del campo térmico metabólico.....	31
Conclusiones	32
Referencias.....	34
Anexo 1.....	43

Índice de figuras

Figura 1. A) Ubicación geográfica del CICESE (el símbolo de la casa indica las instalaciones del CICESE). B) Mapa interno del CICESE tomado de la página web del CICESE (el numero 9 encerrado en círculo rojo indica el laboratorio húmedo de biotecnología)..... 8

Figura 2. Sistema de recirculación usado para la aclimatación térmica de postlarvas y juveniles de *Macrobrachium rosenbergii*. A) Esquema general del sistema mostrando los cinco estanques. B) Aumento a uno de los estanques para detallar el flujo de agua abierto, el sistema de aireación, así como los controladores de temperatura. 10

Figura 3. Sistema respirométrico intermitente. A) Vista superior. B) Vista frontal: la letra minúscula “a” indica las válvulas de paso, “b” las mangueras de entrada del agua hacia las cámaras respirométricas, “c” los sensores de fibra óptica, “d” la salida de agua de la cámara respirométrica, “e” el calentador, “f” piedra de aireación, “g” bombas de agua. C-D) medidor de oxígeno multicanal OXY-10 mini. E) Sensor de fibra óptica. F) Equipo de cómputo cargada con el software OXY-10 versión 3.33FB. Las flechas indican la dirección del flujo de agua en el sistema respirométrico..... 12

Figura 4. Mesa de gradiente térmico empleado para determinar las temperaturas críticas máximas y mínimas de las postlarvas y juveniles de *Macrobrachium rosenbergii* aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C. 16

Figura 5. Tasa de consumo de oxígeno de postlarvas (PL) y juveniles (J) de *Macrobrachium rosenbergii* aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C. Las cajas representan el 50% de la distribución de los datos, la línea horizontal dentro de las cajas representa la mediana (Q2), el bigote superior en forma de T representa el valor máximo y el bigote inferior el valor mínimo, y los círculos y cuadros transparentes los individuos de PL (n = 9) y J (n = 15), respectivamente. Valores con superíndice diferente indican diferencias significativas ($P < 0.05$)..... 19

Figura 6. Tasa de excreción de amoniaco de postlarvas (PL) y juveniles (J) de *Macrobrachium rosenbergii* aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C. Las cajas representan el 50% de la distribución de los datos, la línea horizontal dentro de las cajas representa la mediana, el bigote superior en forma de T representa el valor máximo y el bigote inferior el valor mínimo, y los círculos y cuadros transparentes los individuos de PL (n = 9) y J (n = 15), respectivamente. Valores con superíndice diferente indican diferencias significativas ($P < 0.05$)..... 20

Figura 7. Razón atómica O:N de postlarvas y juveniles de *Macrobrachium rosenbergii* aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C..... 21

Figura 8. Límites de tolerancia térmica de postlarvas (PL) y juveniles (J) de *Macrobrachium rosenbergii* aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C. A) CTmax de PL y J. B) CTmin de PL y J. Los bigotes representan la media y la desviación estándar (media ± SD) y los círculos y cuadros transparentes los individuos de PL (n = 10) y J (n = 15), respectivamente. Valores con superíndice diferente indican diferencias significativas ($P < 0.05$). 23

Figura 9. Ventanas térmicas de postlarvas (PL) y juveniles (J) de *Macrobrachium rosenbergii* aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C. A) Ventana térmica de PL. B) Ventana térmica de J..... 24

Figura 10. Tasas metabólicas altas (HMR) y bajas (LMR) de postlarvas (PL) y juveniles (J) de *Macrobrachium rosenbergii* aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C. A) HMR de PL y J. B) LMR de PL y J. Los bigotes representan la media y la desviación estándar (media ± SD) y los círculos y cuadros transparentes los individuos de PL (n = 9) y J (n = 15), respectivamente. Valores con superíndice diferente indican diferencias significativas ($P < 0.05$)..... 26

Figura 11. Campo térmico metabólico de postlarvas y juveniles de *Macrobrachium rosenbergii* aclimatados a 20, 23, 26, 29 y 32°C ± 1°C. 27