

**Centro de Investigación Científica y de
Educación Superior de Ensenada**



**CONSUMO DE OXIGENO, EXCRECION DE AMONIO
Y OSMORREGULACION EN EL CAMARON AZUL
Litopenaeus stylirostris EXPUESTO A DIFERENTES
COMBINACIONES DE TEMPERATURA Y SALINIDAD**

**TESIS
MAESTRIA EN CIENCIAS**

ALBERTO GRANADOS BLANCO

Ensenada, Baja Cfa., Mexico.

Mayo de 2000.

TESIS DEFENDIDA POR EL **Biól. Alberto Granados Blanco** Y APROBADA
POR EL SIGUIENTE COMITÉ



M. en C. Ana Denisse Re Araujo
Director del Comité



Dr. Fernando Díaz Herrera
Miembro del Comité



M. en C. Elizabeth Sierra Uribe
Miembro del Comité



M. en C. Ana Maria Escofet Giansone
Miembro del Comité

Miembro del Comité



Dr. Miguel Ángel del Río Portilla
Coordinador del Posgrado de Acuicultura



Dr. Federico Graef Ziehl
Director de Estudios de Posgrado

19 de Mayo del 2000.



CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE
EDUCACIÓN SUPERIOR
DE ENSENADA, B. C.

DIVISIÓN DE OCEANOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE ACUICULTURA

**CONSUMO DE OXÍGENO, EXCRECIÓN DE AMONIO Y
OSMORREGULACIÓN EN EL CAMARÓN AZUL
Litopenaeus stylirostris EXPUESTO A DIFERENTES
COMBINACIONES DE TEMPERATURA Y SALINIDAD**

TESIS

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

Presenta:

Biól. Alberto Granados Blanco.

Ensenada, B. C., Mayo del 2000.

RESUMEN de la Tesis del Biól. Alberto Granados Blanco, presentada como requisito parcial, para la obtención del grado de **MAESTRO EN CIENCIAS con especialidad en ACUICULTURA**. Ensenada, Baja California, México. Mayo del 2000.

CONSUMO DE OXÍGENO, EXCRECIÓN DE AMONIO Y OSMORREGULACIÓN EN EL CAMARÓN AZUL *Litopenaeus stylirostris* EXPUESTO A DIFERENTES COMBINACIONES DE TEMPERATURA Y SALINIDAD.

Resumen aprobado por:


M. en C. Denisse Re Araujo

Se estudió el efecto de la combinación de temperaturas (23, 28 y 33 °C) y salinidades (10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 ‰) sobre el consumo de oxígeno (VO_2), excreción de amonio (NH_4^+) y osmorregulación del camarón azul *Litopenaeus stylirostris*. Se colocaron 20 camarones de 1 gramo por cada condición experimental en un respirómetro semiabierto. Para medir el VO_2 se utilizó un oxímetro (YSI # 52); para las determinaciones de NH_4^+ se utilizó la técnica del azul de indofenol y para la presión osmótica un osmómetro de vapor. El VO_2 , la excreción de NH_4^+ y el gasto energético en los organismos aumentó significativamente ($p < 0.05$) a medida que se incrementaron las temperaturas experimentales. A 23 y 33 °C estas respuestas aumentaron en las bajas salinidades y disminuyeron en las altas. El VO_2 , la excreción de NH_4^+ y el gasto energético en los organismos expuestos a 28 °C se mantuvo constante en todo el intervalo de salinidades, con un promedio de 15.8 mg $O_2 h^{-1} g^{-1}$, 0.234 mg $NH_4^+ g^{-1} h^{-1}$ y 303.4 Joules en peso seco respectivamente. Los valores del Q_{10} fueron mayores a 2 en el intervalo de 23 a 28 °C, por lo que hubo una menor compensación metabólica; en el intervalo de 28 a 33 °C los valores del Q_{10} se mantuvieron por debajo de 2, teniendo los camarones un mejor desempeño fisiológico. El sustrato metabólico que catabolizaron los organismos a 23 y 28 °C fueron los carbohidratos. En la temperatura de 33 °C y en las bajas salinidades utilizaron como sustrato una mezcla de proteínas-lípidos y en las altas catabolizaron carbohidratos como principal fuente de energía. Los camarones fueron buenos osmorreguladores, siendo hiperosmóticos en las bajas salinidades (10-20 ‰) e hiposmóticos en las altas salinidades (25-40 ‰). Los resultados obtenidos en este estudio permiten concluir que la temperatura adecuada para cultivar a *Litopenaeus stylirostris* es la de 28 °C y la salinidad entre los 22.9 a 23.3 ‰.

Palabras clave: *Litopenaeus stylirostris*, consumo de oxígeno, excreción de amonio, osmorregulación.

OXYGEN CONSUMPTION, AMMONIA EXCRETION AND OSMOREGULATION IN THE BLUE SHRIMP *Litopenaeus stylirostris* EXPOSED TO DIFFERENT COMBINATIONS TEMPERATURE AND SALINITY.

ABSTRACT

The effect of the combination of temperatures (23, 28 and 33 °C) and salinities (10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40 ‰) on the oxygen consumption (VO_2), ammonium excretion (NH_4^+) and osmoregulation of the blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* was studied. In each experimental condition, 20 shrimps, 1 g each, were put in a semiclosed respirometer. An oximeter (YSI #52) was employed for the determination of VO_2 ; the blue of indofenol technique was used for determinations of NH_4^+ , and a steam-osmometer was employed to obtain the osmotic pressure. The VO_2 , the excretion of NH_4^+ and the energetic expenditure increased significantly ($p < 0.05$) as the experimental temperatures were increased. At 23 and 33 °C these responses increased in the decreases salinities, and decreased in high salinities. The VO_2 , the excretion of NH_4^+ and the energetic expense in the organisms exposed to 28 °C stayed constant in all the interval of salinities with an average of 15.8 mg O_2 h^{-1} g^{-1} , 0.234 mg NH_4^+ g^{-1} h^{-1} and 303.4 Joules in dry weight respectively. The Q_{10} values were greater than 2 in the 23 to 28 °C interval, indicating that there was a minor metabolic compensation. The Q_{10} values were below 2 at the 28 to 33 °C interval, indicating that the shrimps had a better physiological performance. The metabolic substrate catabolized by the organisms at 23 and 28 °C were the carbohydrates. At 33 °C and low salinity the substrate was a proteins-lipids mixture, and at high salinity the carbohydrates were the primary source of energy. The shrimps were good osmoregulators, being hiperosmotic at low salinities (10-20 ‰) and hiposmotic at high salinities (25-40 ‰). On the results obtained in this study it is concluded that the optimum temperature to cultivate to *Litopenaeus stylirostris* is 28 °C, and the optimum salinities between 22.9 to 23.3 ‰.

Key words: *Litopenaeus stylirostris*, oxygen consumption, excretion of ammonium, osmoregulation.

DEDICATORIA

CON TODO MI AMOR PARA MI QUERIDA HIJA ZYANYA

AGRADECIMIENTOS

A los miembros del comité de Tesis, por sus comentarios y correcciones que ayudaron en demasía al manuscrito final.

A la Directora de Tesis M. en C. Denisse Re Araujo, por compartir una nueva experiencia.

Especialmente al Dr. Fernando Díaz Herrera por su paciencia, apoyo y amistad que me permitió lograr concretar esta meta de mi vida.

A la M. en C. Elizabeth Sierra Uribe, por su cariño, porque estuvo en los momentos más difíciles de mi vida y que además este logro es parte de la confianza que ha depositado en mi.

A la M. en C. Ana María Escofet Giansone, por sus acertadas correcciones al manuscrito y por tenerme paciencia.

Al M. en C. Benjamín Barón y a toda su familia, les doy las gracias porque me tendieron la mano en todo momento, también gracias por la Amistad que existe entre nosotros.

Con grato reconocimiento a mis amigos Miguel Ángel Aldama y Héctor Rodríguez, que me brindaron apoyo económico y moral; a mis compañeros y varios de ellos que son mis amigos, que de alguna manera influyeron en mi vida académica y emotiva.

A la sección de Apoyo Gráfico del CICESE y en particular a Francisco J. Ponce I. y José M. Domínguez O.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado a través de su sistema de becas.

Al Ing. Marco Ross gerente de la granja "El Camarón Dorado" por la donación de los ejemplares para la realización de este proyecto.

Al SIMAC por haber solventado los gastos en el mantenimiento de los animales, y la realización de este estudio, así como el apoyo de una beca que me sostuvo económicamente durante los meses de Noviembre-Diciembre de 1999 y Abril del 2000, con el número de proyecto 980106004.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	7
III. MATERIALES Y MÉTODOS	8
III.1. Obtención y mantenimiento de los organismos	8
III. 1. 1. Aclimatación de los organismos a las temperaturas experimentales	8
III. 1. 2. Aclimatación de los organismos a las salinidades experimentales	9
III.2. Consumo de oxígeno y excreción de amonio	11
III. 3. Gasto energético en el consumo de oxígeno de <u>Litopenaeus stylirostris</u>	13
III. 4. Q_{10}	13
III.5. Relación atómica O:N	14
III.6. Presión osmótica	14
III. 7. Permeabilidad	15
III.8. Análisis estadístico	15
IV RESULTADOS	18
IV. 1. Consumo de oxígeno	18
IV. 2. Gasto energético en la respiración de <u>Litopenaeus stylirostris</u>	23
IV. 3. Q_{10}	23
IV. 4. Excreción de amonio	26
IV. 5. Relación atómica O:N	31
IV. 6. Presión osmótica	35

CONTENIDO (Continuación)

	<u>Página</u>
IV. 7. Permeabilidad	41
V. DISCUSIÓN	44
V.1. Consumo de oxígeno, gasto energético y Q_{10} de <u>Litopenaeus stylirostris</u>	44
V.2. Excreción de amonio y relación atómica O:N	48
V.3. Presión osmótica y permeabilidad	51
LITERATURA CITADA	59

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	Respirómetro semi-abierto que consta de 21 cámaras de 250 ml.	12
2	Consumo de oxígeno ($\text{mg O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ p.s.}$) en <i>Litopenaeus stylirostris</i> aclimatado a la temperatura de 23 °C y en siete salinidades. Medianas \pm I.C.	19
3	Consumo de oxígeno ($\text{mg O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ p.s.}$) en <i>Litopenaeus stylirostris</i> aclimatado a la temperatura de 28 °C y en siete salinidades. Medianas \pm I.C.	20
4	Consumo de oxígeno ($\text{mg O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ p.s.}$) en <i>Litopenaeus stylirostris</i> aclimatado a la temperatura de 33 °C y en siete salinidades. Medianas \pm I.C.	21
5	Excreción nitrogenada ($\text{mg NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ p.s.}$) en <i>Litopenaeus stylirostris</i> aclimatado a la temperatura de 23 °C y en siete salinidades. Medianas \pm I.C.	27
6	Excreción nitrogenada ($\text{mg NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ p.s.}$) en <i>Litopenaeus stylirostris</i> aclimatado a la temperatura de 28 °C y en siete salinidades. Medianas \pm I.C.	28
7	Excreción nitrogenada ($\text{mg NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ p.s.}$) en <i>Litopenaeus stylirostris</i> aclimatado a la temperatura de 33 °C y en siete salinidades. Medianas \pm I.C.	29

LISTA DE FIGURAS (Continuación)

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
8	Relación atómica O:N en <i>Litopenaeus stylirostris</i> aclimatado a la temperatura de 23 °C y en siete salinidades.	32
9	Relación atómica O:N en <i>Litopenaeus stylirostris</i> aclimatado a la temperatura de 28 °C y en siete salinidades.	33
10	Relación atómica O:N en <i>Litopenaeus stylirostris</i> aclimatado a la temperatura de 33 °C y en siete salinidades.	34
11	Determinación de la presión osmótica de la hemolinfa del camarón azul <i>Litopenaeus stylirostris</i> aclimatado a la temperatura de 23 °C y en siete salinidades. Mediana \pm I.C.	37
12	Determinación de la presión osmótica de la hemolinfa del camarón azul <i>Litopenaeus stylirostris</i> aclimatado a la temperatura de 28 °C y en siete salinidades. Mediana \pm I.C.	38
13	Determinación de la presión osmótica de la hemolinfa del camarón azul <i>Litopenaeus stylirostris</i> aclimatado a la temperatura de 33 °C y en siete salinidades. Mediana \pm I.C.	39
14	Determinación de la cantidad de agua en el tejido en el camarón azul <i>Litopenaeus stylirostris</i> aclimatado a diferentes combinaciones de temperaturas y salinidades.	42

LISTA DE TABLAS

<u>Tabla</u>		<u>Página</u>
I	Análisis proximal (%) del alimento balanceado Rangen [®] proporcionado a los juveniles de <i>Litopenaeus stylirostris</i> .	10
II	Análisis de varianza de dos vías, del efecto de la temperatura (23, 28 y 33 °C) y la salinidad (10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 ‰) sobre el consumo de oxígeno de <i>Litopenaeus stylirostris</i> .	22
III	Análisis de varianza de dos vías, con respecto al efecto de la temperatura (23, 28 y 33 °C) y la salinidad (10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 ‰) sobre el gasto energético en el metabolismo respiratorio de <i>Litopenaeus stylirostris</i> .	24
IV	Q ₁₀ de <i>Litopenaeus stylirostris</i> aclimatado a las diferentes salinidades experimentales.	25
V	Análisis de varianza de dos vías, del efecto de la temperatura (23, 28 y 33 °C) y la salinidad (10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 ‰) sobre la excreción de amonio de <i>Litopenaeus stylirostris</i>	30
VI	Análisis de varianza de dos vías, con respecto al efecto de la temperatura (23, 28 y 33 °C) y la salinidad (10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 ‰) sobre la concentración de la hemolinfa de <i>Litopenaeus stylirostris</i> .	40
VII	Análisis de varianza de dos vías, con respecto al efecto de la temperatura (23, 28 y 33 °C) y la salinidad (10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 ‰) sobre la permeabilidad de <i>Litopenaeus stylirostris</i> ..	43
VIII	Puntos isosmóticos de diferentes especies de crustáceos.	54

CONSUMO DE OXÍGENO, EXCRECIÓN DE AMONIO Y OSMORREGULACIÓN EN EL CAMARÓN AZUL *Litopenaeus stylirostris* EXPUESTO A DIFERENTES COMBINACIONES DE TEMPERATURA Y SALINIDAD

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de organismos acuáticos de importancia comercial en la actualidad contribuye con más del 20 % de la producción total destinada al consumo humano. La camaronicultura es una industria que está atrayendo la atención de empresas a nivel mundial, y en México es una actividad que va teniendo un mayor impulso (Martínez, 1994). La producción total de peneidos en México durante 1998 en bahías y esteros, en altamar y en Acuicultura, fue de 24,413, 42,173 y 23,749 toneladas, respectivamente (SEMARNAP, 1998).

En México el camarón se explota comercialmente en dos grandes regiones el Océano Pacífico y Golfo de México, en ambas regiones las especies con mayor importancia comercial (Aragón, 2000) pertenecen a los géneros clasificados por Pérez-Farfante y Kensley (1997) como *Litopenaeus* (camarón blanco y azul) y *Farfantepenaeus* (camarón café y rojo).

El camarón azul *Litopenaeus stylirostris* se encuentra distribuido en México desde Punta Abreojos, Baja California hasta Tumbes, Perú. En la porción central y norte del Golfo de California es la segunda especie de mayor abundancia y es dominante en las lagunas, estuarios y bahías desde el norte de Mazatlán hasta el río Colorado. Habita en aguas costeras entre los 0 y 30 metros de profundidad, generalmente vive en fondos fangosos o fango-arenosos (Martínez, 1994; Aragón, 2000).

Los peneidos se caracterizan por presentar durante su ciclo de vida

movimientos migratorios del mar hacia las lagunas costeras y estuarios. Los sistemas lagunares-estuarinos son ambientes donde factores extrínsecos del medio como la temperatura y la salinidad cambian de manera cíclica y estacional afectando los procesos fisiológicos de los organismos que en ellos habitan limitando la distribución de éstos organismos hacia ambientes específicos (Zein-Eldin y Aldrich, 1965; Vernberg y Vernberg, 1972; Bishop *et al.*, 1980; Castille y Lawrence, 1981; Ferraris *et al.*, 1986; Vanegas *et al.*, 1988; Díaz *et al.*, 1992; Díaz y Bückle, 1993).

Entre los procesos fisiológicos que se alteran en los organismos por efecto de la temperatura y la salinidad está el consumo de oxígeno (Villarreal y Ocampo, 1993). Existen diversas respuestas por parte de los animales con respecto a las modificaciones del consumo de oxígeno y generalmente se deben a que cada especie responde de manera distinta ante cambios en el ambiente. En *Penaeus indicus*, Kutty *et al.* (1971) obtuvieron que el consumo de oxígeno se incrementó a medida que aumentaba la temperatura. Dalla Via (1986) obtuvo que el consumo de oxígeno de *P. japonicus* se incrementó al ser expuesto a cambios bruscos de salinidad, llegando a consumir hasta 300 % más oxígeno. Taylor (1977) reportó para *Carcinus maenas*, que los cambios de salinidad provocaron incrementos en la velocidad de movimiento del escafognatito aumentando el volumen de ventilación del agua, y por lo tanto la aceleración del ritmo cardiaco. Kulkarni y Joshi (1980), Chen y Lai (1993) en *P. japonicus*; Kurmaly *et al.* (1989) en *P. monodon*; Yagi *et al.* (1990) en *Palaemon serratus*; Martínez-Palacios *et al.* (1996) en *P. vannamei* y Rosas *et al.* (1997) en *P. setiferus*, reportaron que estos peneidos aumentaron su metabolismo respiratorio conforme se aumentó la temperatura y disminuyó cuando los camarones se expusieron a las altas salinidades.

En *Palaemonetes vulgaris*, *Penaeus aztecus*, *P. brasiliensis* y en *P.*

schmitti, se encontró que mantuvieron constante su metabolismo respiratorio con respecto a la combinación de temperaturas y salinidades a las que fueron expuestos (McFarland y Pickens, 1965; Bishop *et al.*, 1980; Scelzo y Zúñiga, 1987; Hernández y Díaz, 1995; Rosas *et al.*, 1997).

En el metabolismo respiratorio en crustáceos se ha tomado en consideración la cuantificación del gasto energético, ya que influye significativamente en el consumo de oxígeno de los organismos (Schmidt-Nielsen, 1979; Gaudy y Sloane, 1981; Prosser, 1993). Bishop *et al.* (1980) en *P. aztecus* y Kurmaly *et al.* (1989) en *P. monodon*, reportaron que éstas especies utilizaron una mayor cantidad de energía al aumentar la temperatura y en *P. setiferus*. Rosas *et al.* (1997) obtuvieron un aumento del gasto energético cuando fueron expuestos a las bajas salinidades.

Existen otros indicadores que se relacionan con el consumo de oxígeno de los organismos, siendo el Q_{10} que permite establecer el cambio en el metabolismo respiratorio en organismos poiquiloterms ya que la magnitud del efecto de la temperatura sobre las reacciones químicas se modifican en forma considerable por el aumento de cada 10 °C. Valores del Q_{10} entre 1 y 2 se considera como una respuesta por parte del animal para mantener un medio interno estable, a partir de 3 se considera como una alteración en la fisiología del organismo (Schmidt-Nielsen, 1979; Díaz, 1988).

La producción de desechos nitrogenados en los organismos acuáticos aumenta o disminuye al exponerlos a diferentes combinaciones de temperatura y salinidad, siendo el amonio el principal producto de excreción de organismos dulce acuícolas, salobres o marinos, por lo cual se les ha denominado como organismos amoniotélicos, y energéticamente se considera la forma más eficiente para excretar el nitrógeno (Armstrong, 1979; Regnault, 1987; Gerhardt, 1980).

Regnault (1987) mencionó que en los decápodos, el nitrógeno es excretado a través de las glándulas antenales principalmente como amonio sumando entre el 60 al 70 % del nitrógeno total. La excreción nitrogenada de los organismos parece que incluye el catabolismo de aminoácidos y ciertas aminas, una degradación más o menos completa de los ácidos nucleicos y la desaminación de ciertos nucleótidos (Armstrong, 1979).

La tasa de excreción de amonio en los organismos generalmente se incrementa con el aumento en la temperatura. En cuanto al efecto de la salinidad, se ha obtenido que en los decápodos eurihalinos aumenta la producción de amonio cuando se disminuye la salinidad del medio externo (Regnault, 1984 y 1987). Los principales procesos que involucran la salida de productos nitrogenados, es por medio de la difusión como NH_3 y/o NH_4^+ a través del epitelio branquial. El NH_3 como una base libre siempre es difusible pasivamente a través de la presión parcial del gradiente; o en el caso donde la difusión es posiblemente pasiva o activa mediante un gradiente electroquímico. Por lo que la forma en el amonio atraviesa la superficie del cuerpo depende de la presencia de iones sodio en el medio externo. El segundo proceso que involucra la salida de amonio es a través de un intercambio iónico, donde el sodio entra por contrabalance, excretando así el amonio. Evidencias con respecto al intercambio $\text{Na}^+/\text{NH}_4^+$, es que se requiere de un transportador enzimático específico el cual es la $\text{Na}^+ \text{K}^+$ ATPasa, ésta se halla en el borde de la parte basal de las células epiteliales de la branquia (Regnault, 1984 y 1987; Hagerman, 1990).

En investigaciones sobre la fisiología metabólica de los organismos se consideran el coeficiente respiratorio (CR) y la razón atómica O:N, como integraciones simples y son consideradas variables de estado; esto se refiere a que los cambios de las variables (oxígeno consumido y nitrógeno excretado) no dependen de estados intermedios sino solamente de valores iniciales y finales.

Cuando se integran los valores del consumo de oxígeno y de nitrógeno excretado, en razones atómicas (O:N), se obtiene información acerca del balance entre el catabolismo de las proteínas, lípidos y carbohidratos (Espina y Vanegas, 1996).

Barber y Blake (1985) propusieron valores teóricos en la razón atómica O:N, con respecto a la catabolización de proteínas los valores son entre 7 a 9.3, entre 10 a 23 para lípidos y carbohidratos y valores mayores a 24 se catabolizan exclusivamente los carbohidratos. Mayzaud y Conover (1988) propusieron intervalos mayores para cada sustrato, siendo para el catabolismo de proteínas de 3 a 16, lípidos y proteínas con valores de 20 a 60 y carbohidratos valores mayores a 60.

La fisiología osmorreguladora de diferentes especies de crustáceos ha sido estudiado durante las pasadas 4 décadas (Mantel y Farmer, 1983; Péqueux, 1995). La capacidad de los peneidos para adaptarse a cambios en la temperatura y salinidad son los factores primarios que les permiten su sobrevivencia; cambios en la salinidad ambiental desorganiza el balance osmótico causando que los organismos reajusten su concentración osmótica de la hemolinfa.

Los crustáceos han desarrollado una variedad de respuestas para tolerar los cambios en la concentración osmótica del medio externo. Estos mecanismos son: la reducción de la permeabilidad corporal, el transporte activo o excreción de iones, la regulación del volumen de agua en el cuerpo, la conservación de agua o sales mediante los órganos excretores y la regulación de la concentración osmótica celular (Lockwood, 1962). La temperatura en forma directa afecta los procesos osmorregulatorios y son compensados por los organismos mediante ajustes en el influjo y reflujos del agua, iones y otros metabolitos y a través de procesos activos en las células y órganos especializados para la osmorregulación (Lange, 1972; Dorgelo, 1981; Péqueux, 1995).

Cambios en la salinidad del ambiente originan un rompimiento en el balance osmótico de los organismos, por lo que tienen que reajustar su concentración osmótica, mediante el aumento o disminución del agua en el tejido (Che Mat y Potts, 1985) usando una cantidad considerable de energía (Chen *et al.*, 1995).

Este estudio surgió de la inquietud de explorar sobre las respuestas fisiológicas de esta especie, se tomó como base el trabajo realizado por Re-Araujo *et al.* (1998), los cuales determinaron solo la preferencia térmica. Es importante profundizar el conocimiento del efecto de los factores ambientales como la temperatura y la salinidad sobre las respuestas fisiológicas de los crustáceos de importancia económica, entre las respuestas que se estudiaron fueron el consumo de oxígeno, la excreción de amonio y la osmorregulación, para entender los mecanismos adaptativos que permiten a estos organismos sobrevivir, crecer y reproducirse ante la variación del ambiente. Este conocimiento es importante ya que permite optimizar las condiciones de cultivo de los camarones, los que en México constituyen el primer lugar en la explotación de los crustáceos marinos. Además de que los estudios para ésta especie son limitados por lo que es una alternativa más para explorar el funcionamiento fisiológico y poder obtener parámetros óptimos para el desarrollo en sistemas de cultivo controlados.

II. OBJETIVOS

En este trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

Cuantificar la tasa de consumo de oxígeno en *Litopenaeus stylirostris* expuesto a diferentes combinaciones de temperatura y salinidad.

Medir la tasa de excreción de amonio de *L. stylirostris* expuesto a diferentes combinaciones de temperatura y salinidad.

Evaluar la relación atómica O:N en *L. stylirostris* expuesto a diferentes combinaciones de temperatura y salinidad.

Determinar el patrón de regulación de *L. stylirostris* sometido a diferentes combinaciones de temperatura y salinidad.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

III.1. Obtención y mantenimiento de los organismos

Se obtuvieron 1,500 camarones de *Litopenaeus stylirostris* en la etapa de PL8, con un peso promedio húmedo de 0.022 g del laboratorio "Camarón Dorado S. A." ubicado en la ciudad de Huatabampo, Estado de Sonora. Los organismos fueron transportados al Laboratorio de Ecofisiología del Departamento de Acuicultura del CICESE, y se colocaron en tres estanques de 1.5 m³ con flujo continuo de agua de mar. El recambio de agua fue del 100 % diario; la temperatura se mantuvo en $28 \pm 5^\circ \text{C}$, con una salinidad de 35 ‰ y aireación constante. Los organismos fueron alimentados con la dieta para camarón Rangen[®] (Tabla I) dos veces al día a una ración equivalente al 150 % de su peso corporal húmedo durante 3 meses, tiempo suficiente en el que alcanzaron el peso promedio entre 0.8 a 1.0 g, la finalidad fue que con este peso se les pudo extraer la hemolinfa con las herramientas presentes en el Laboratorio.

III. 1. 1. Aclimatación de los organismos a las temperaturas experimentales

Al final de los tres meses 900 camarones fueron trasladados a tres estanques circulares de 500 l, colocándose 300 por estanque, esto se realizó para aclimatarlos durante un mes a las temperaturas experimentales de 23, 28 y $33 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, las que se incrementaron y disminuyeron cada $2 \text{ }^\circ\text{C}$ por día y se mantuvieron a una salinidad de 35 ‰. La temperatura del agua de los estanques se mantuvo utilizando calentadores sumergibles de 1,000 watts conectados a reguladores provistos de sensores térmicos. La temperatura de $28 \text{ }^\circ\text{C}$ correspondió a la temperatura óptima determinada para ésta especie por Re-

Araujo *et al.* (1998).

Las temperaturas de 23 y 33 °C se seleccionaron para cubrir el intervalo en el que fluctúa la temperatura en la zona de cultivo de esta especie. El recambio de agua durante el periodo de aclimatación de los organismos fue del 100 %, con aireación constante. El fotoperiodo se mantuvo fijo en 12 horas luz y 12 horas de oscuridad. La ración alimenticia de los juveniles (etapa con la que se realizaron los experimentos) fue del 10 % de su peso corporal húmedo; y se les proporcionó dos veces por día: fueron alimentados con la dieta Rangen[®].

III. 1. 2. Aclimatación de los organismos a las salinidades experimentales

Al finalizar el periodo de aclimatación de los camarones a las temperaturas experimentales, se inició con la aclimatación a las salinidades de 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 ‰ ± 1 ‰ colocándose los organismos en garrafones de 19 litros (invertidos y sin fondo) a una densidad de 20 animales por garrafón. Para obtener las salinidades inferiores a 35 ‰ se realizaron diluciones mediante el uso de agua dulce y para la salinidad de 40 ‰ se recurrió a la adición de sales de mar. La tasa de disminución de la salinidad en los garrafones fue de 5 ‰ por día. Una vez alcanzadas las salinidades experimentales, los organismos permanecieron en esas condiciones durante una semana, tiempo necesario para la estabilización de su medio interno (Scelzo y Zúñiga, 1978; Castille y Lawrence, 1981). El agua de los garrafones se recambió diariamente a una tasa del 50 %. Las temperaturas experimentales de 23, 28 y 33 °C se mantuvieron con calentadores sumergibles de 300 watts conectados a reguladores digitales Medusa[®]. Durante esta etapa a los organismos se les suministró el mismo 10 % de alimento dos veces al día durante toda la semana.

Tabla I. Análisis proximal (%) del alimento balanceado Rangen[®] proporcionado a los juveniles de *Litopenaeus stylirostris*.

Proteína (Mínimo)	35.0
Lípidos (Mínimo)	8.0
Carbohidratos (Máximo)	4.0
Cenizas (Máximo)	15.0
Fósforo (Mínimo)	1.0

III.2. Consumo de oxígeno y excreción de amonio

Las mediciones del consumo de oxígeno y excreción nitrogenada de los camarones provenientes de las diferentes combinaciones de temperaturas (23, 28 y 33 °C) y salinidades (10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 ‰), se realizaron utilizando un respirómetro semi-abierto como el descrito por Díaz (1989) provisto con 21 cámaras respirométricas de 250 ml (Figura 1); 24 horas previas a las mediciones, los animales se colocaron individualmente al azar en cada cámara respirométrica y permanecieron sin alimento durante este periodo.

De cada cámara respirométrica, antes de cerrar el flujo de agua, se tomaron dos muestras iniciales de agua, una para medir la concentración inicial de oxígeno disuelto y otra para conocer la concentración inicial de amonio. Las cámaras permanecieron cerradas una hora, tiempo en el que el contenido de oxígeno disuelto en el agua no disminuyó por debajo del 25-30 % ya que de acuerdo con Stern *et al.* (1984), éstos niveles causan estrés en los organismos. Las muestras de agua se obtuvieron por el desplazamiento del volumen de agua al inflar un globo colocado en el interior de cada cámara, a través de un sistema de mangueras. Una muestra de agua de 3 ml se colocó en un dispositivo cerrado herméticamente para evitar variaciones en el contenido del oxígeno; la concentración de éste gas disuelto en el agua se midió con un oxímetro modelo YSI # 52 provisto de un sensor polarográfico. La tasa de consumo de oxígeno (VO_2) de los organismos se calculó como la diferencia entre la concentración final menos la inicial, y se expresó como mg de O_2 h^{-1} g^{-1} de peso seco (p. s.).

Las muestras de agua inicial y final para determinar la producción de amonio (NH_4^+) se obtuvieron de cada cámara respirométrica en forma similar a la descrita para las mediciones del consumo de oxígeno, excepto que la muestra fue

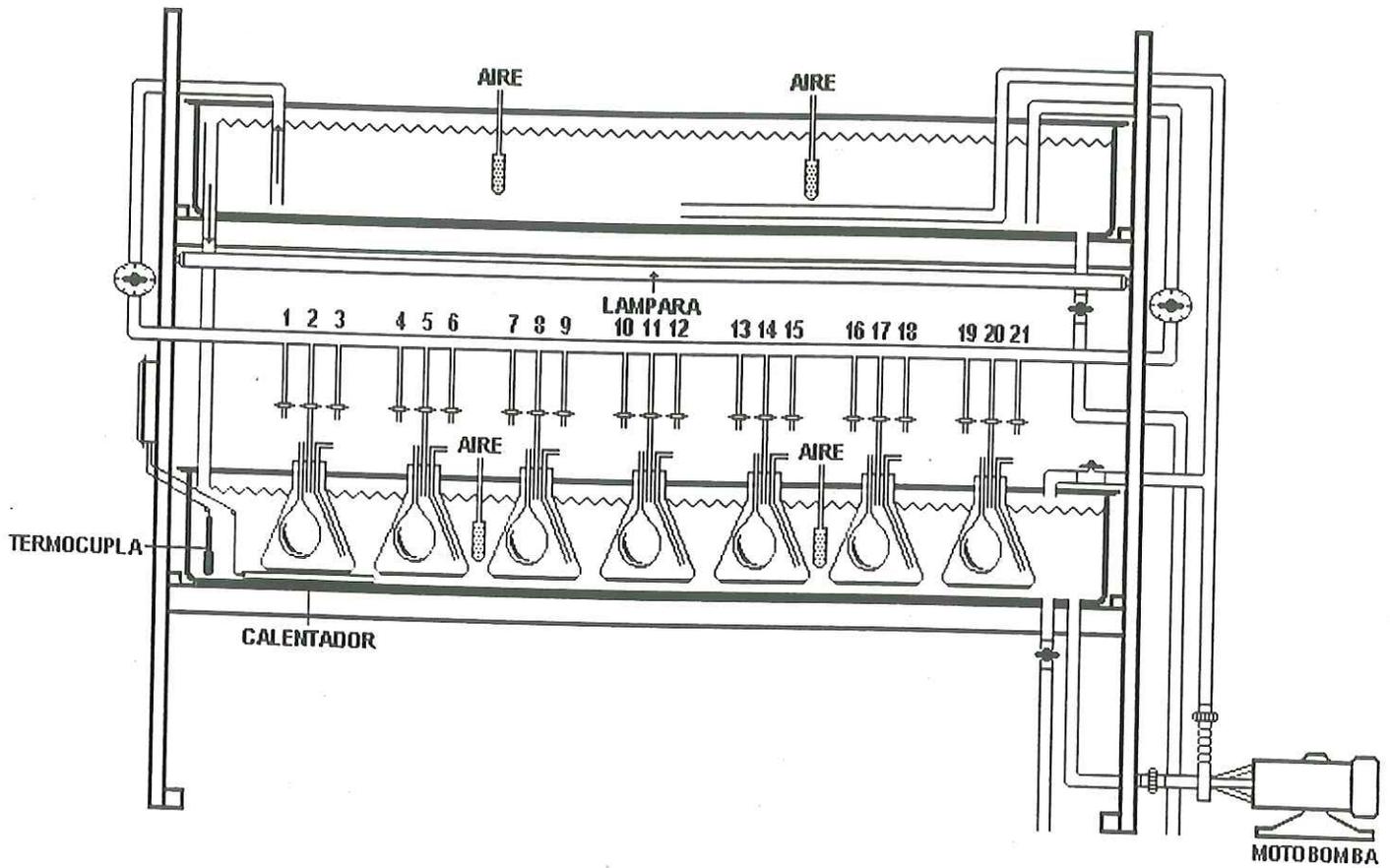


Figura 1. Respirómetro semiabierto que consta de 21 cámaras de 250 ml.

de 10 ml. Para la cuantificación de amonio el método que se utilizó fue el de azul de indofenol (Rodier,1978). Las muestras de agua se midieron en un espectrofotómetro marca ELYPTICA Mod. ELY-2000 a una longitud de onda de 640 nm. La producción de amonio de los juveniles se calculó como la diferencia entre la medición final del gas menos la inicial, y se expresó en mg de NH_4^+ h^{-1} g^{-1} p. s.

Durante la fase experimental se mantuvo una cámara respirométrica que sirvió como control para medir en el agua el consumo de oxígeno y excreción de amonio de microorganismos. La primera medición se realizó durante la mañana y su repetición durante el medio día, el número de mediciones diarias fueron 80 durante 21 días.

III. 3. Gasto energético en el consumo de oxígeno de Litopenaeus stylirostris

El gasto energético de los camarones se calculó a partir de los valores del consumo de oxígeno de los organismos aclimatados a las combinaciones de temperatura y salinidad, mediante el coeficiente oxicalórico 4.63 cal g^{-1} de oxígeno propuesto por Brett y Groves (1979), y se transformaron a unidades de energía en Joules con el factor de conversión de 1 Caloría = 4.1856 Joules.

III. 4. Q_{10}

El Q_{10} representa los cambios de la tasa metabólica de los organismos ante variaciones de la temperatura. En general una elevación de $10 \text{ }^\circ\text{C}$ en la temperatura del agua causa que la tasa de consumo de oxígeno en animales ectotermos se incremente aproximadamente el doble. Generalmente se considera estable la condición fisiológica de los organismos con valores del Q_{10} entre 1 a 2;

valores de 3 representa un desequilibrio fisiológico. Schmidt-Nielsen (1979) propusieron la siguiente fórmula para determinar el cambio de la tasa metabólica:

$$Q_{10} = (M1/M2)^{(10/T1-T2)} \quad (1)$$

Donde:

M1 = Tasa metabólica a la temperatura 1

M2 = Tasa metabólica a la temperatura 2

T1, T2 = Temperatura 1 y 2 respectivamente

III.5. Relación atómica O : N

Con los datos de las mediciones del consumo de oxígeno y de la excreción de amonio de los camarones expuestos a las diferentes combinaciones de temperatura y salinidad, se calculó la relación atómica O:N, como un indicador del sustrato metabólico empleado por los organismos para cubrir los requerimientos energéticos, ante las variaciones de temperatura y salinidad al que fueron sometidos (Mayzaud y Conover, 1988).

III.6. Presión osmótica

La osmolaridad de la hemolinfa se midió de manera individual, haciendo una punción en la membrana toraco-abdominal secada previamente con papel absorbente para evitar contaminación de la hemolinfa con el agua del medio. Se extrajo la hemolinfa con una micropipeta de 10 μ l; la muestra se colocó en un osmómetro de vapor Wescor[®], y la presión osmótica del medio interno de los organismos se expresó en mmol Kg^{-1} .

Al finalizar los experimentos los organismos fueron pesados en una balanza analítica marca Ohaus TS 400D para obtener el peso húmedo y fueron colocados en una estufa marca Blue M a 60 °C durante una semana hasta obtener el peso seco constante.

III. 7. Permeabilidad

El contenido de agua en los tejidos de los organismos se estimó como la diferencia entre el peso húmedo y el peso seco de los camarones expuestos a las diferentes condiciones experimentales y se expresó como porcentaje de peso húmedo de acuerdo a la fórmula propuesta por Chen y Lin (1994):

$$\text{Permeabilidad (\%)} = (\Delta P * 100 \%) / p. h. \quad (2)$$

Donde:

ΔP = es la diferencia entre el peso húmedo y el peso seco de los organismos expuestos a las diferentes condiciones experimentales.

p. h. = peso húmedo de los camarones

III.8. Análisis estadístico

Para determinar si existieron diferencias significativas de los datos del consumo de oxígeno y excreción de amonio de los organismos entre las repeticiones se utilizó el ANOVA de I vía. Dado que no se hallaron diferencias significativas ($p > 0.05$) los datos se agruparon. Los valores del consumo de oxígeno y excreción de amonio de los organismos mantenidos en las diferentes combinaciones de temperatura y salinidad se procesaron mediante el Análisis

Exploratorio de Datos (Tukey, 1977). Se calculó la mediana como medida de tendencia central resistente y se calcularon los intervalos de confianza de la mediana utilizando la fórmula:

$$\text{I.C.} = M \pm ((1.58 \Delta H) / \sqrt{n}) \quad (3)$$

I.C. = Intervalo de Confianza

M = Mediana

1.58 = constante

ΔH = es la amplitud de la caja y corresponde a la diferencia entre los cuartiles ($H_s - H_i$)

n = número de observaciones en cada tratamiento

Se consideró que hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) cuando los intervalos de confianza de las medianas no se traslaparon.

Los datos de osmorregulación en los camarones fueron representados en diagramas de cajas en paralelo (Tukey, 1977). Dentro de la caja se encuentra el 50 % de los datos que corresponden a la mediana, al cuartil superior (H_s) y al inferior (H_i), y los intervalos de confianza: el otro 50 % queda repartido en cada una de las cotas cuyo valor representa el 25 % de los datos.

Se realizaron regresiones lineales con los valores obtenidos de la hemolinfa de *L. stylirostris* contra los valores del medio externo, para obtener las rectas de regresión, y con base en esta prueba se calcularon los puntos isosmóticos esperados mediante la ecuación puesta por Ferraris *et al.* (1986), que consideran:

$$Y = a + bX \quad (4)$$

Sí $Y = X$, entonces: $Y' = a / (1-b)$

Donde:

Y' = concentración de la hemolinfa de los organismos

a = ordenada al origen

b = pendiente

X = concentración del medio externo

Se utilizó el análisis de varianza de dos vías para determinar si el consumo de oxígeno, excreción de amonio, osmorregulación y permeabilidad de los organismos expuestos a las diferentes temperaturas y salinidades experimentales hubieron diferencias significativas. Los datos de permeabilidad fueron transformados utilizando el arcoseno (Zar, 1974).

IV RESULTADOS

IV. 1. Consumo de oxígeno

En los organismos aclimatados a 23 °C, la tasa de consumo de oxígeno tuvo un intervalo de 9.64 a 11.50 mg O₂ h⁻¹ g⁻¹ p. s. (Figura 2); en los mantenidos en 28 °C, fue de 15.40 a 17.5 mg O₂ h⁻¹ g⁻¹ p. s. (Figura 3) y en los expuestos a 33 °C fue de 11.8 a 19.6 mg O₂ h⁻¹ g⁻¹ p. s. (Figura 4). Por lo que la tasa de consumo de oxígeno se incrementó directamente en función al aumento de la temperatura. En el consumo de oxígeno se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.001$) con respecto al efecto de la temperatura y la salinidad, al utilizar el análisis de varianza de dos vías. Además existió interacción significativa ($p < 0.001$) de la temperatura y la salinidad sobre el consumo de oxígeno (Tabla II).

El metabolismo respiratorio del camarón azul también fue afectado de manera significativa por la salinidad ($p < 0.001$). En los organismos aclimatados a las temperaturas de 23 y 33 °C el consumo de oxígeno se incrementó en las salinidades de 10 y 15 ‰ y disminuyó conforme se aumentó la salinidad hasta 40 ‰ (Figuras 2 y 4). En los animales expuestos a 28 °C la tasa metabólica no fue afectada por las salinidades experimentales ($p > 0.001$) (Figura 3).

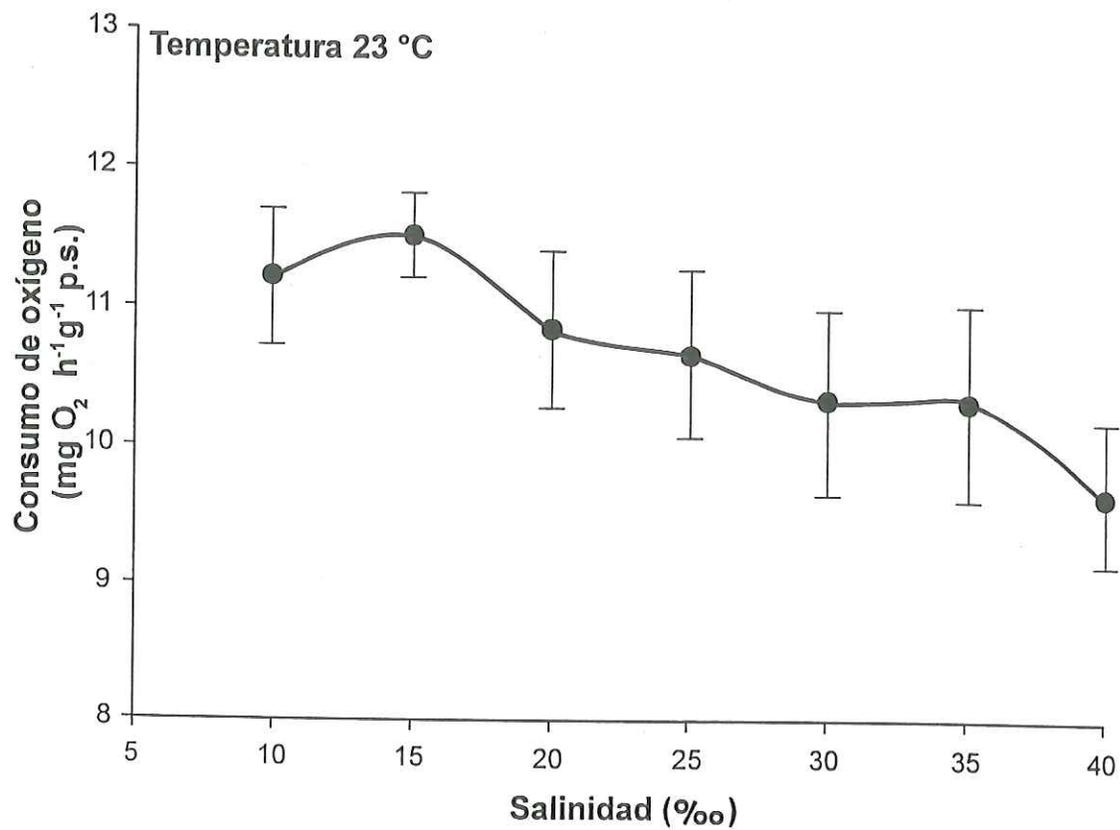


Figura 2. Consumo de oxígeno (mg O₂ h⁻¹ g⁻¹ p.s.) en *Litopenaeus stylirostris* aclimatado a la temperatura de 23 °C y expuesto a diferentes salinidades. Mediana ± I. C.

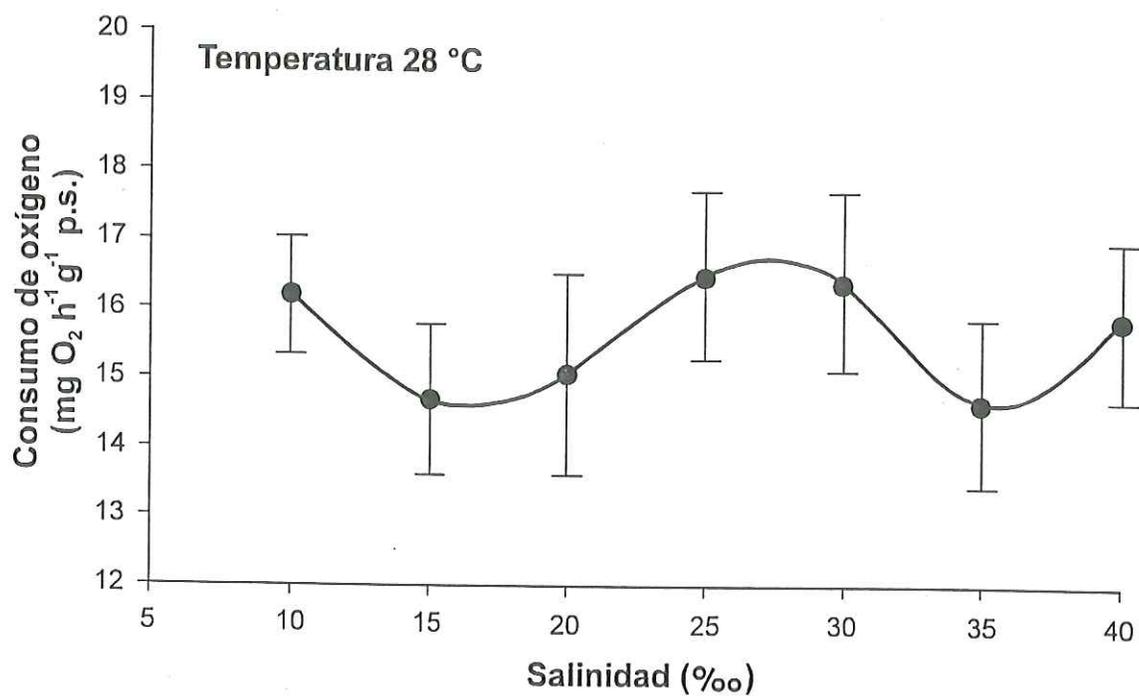


Figura 3. Consumo de oxígeno (mg O₂ h⁻¹ g⁻¹ p.s.) en *Litopenaeus stylirostris* aclimatado a la temperatura de 28 °C y expuesto a diferentes salinidades. Mediana ± I. C.

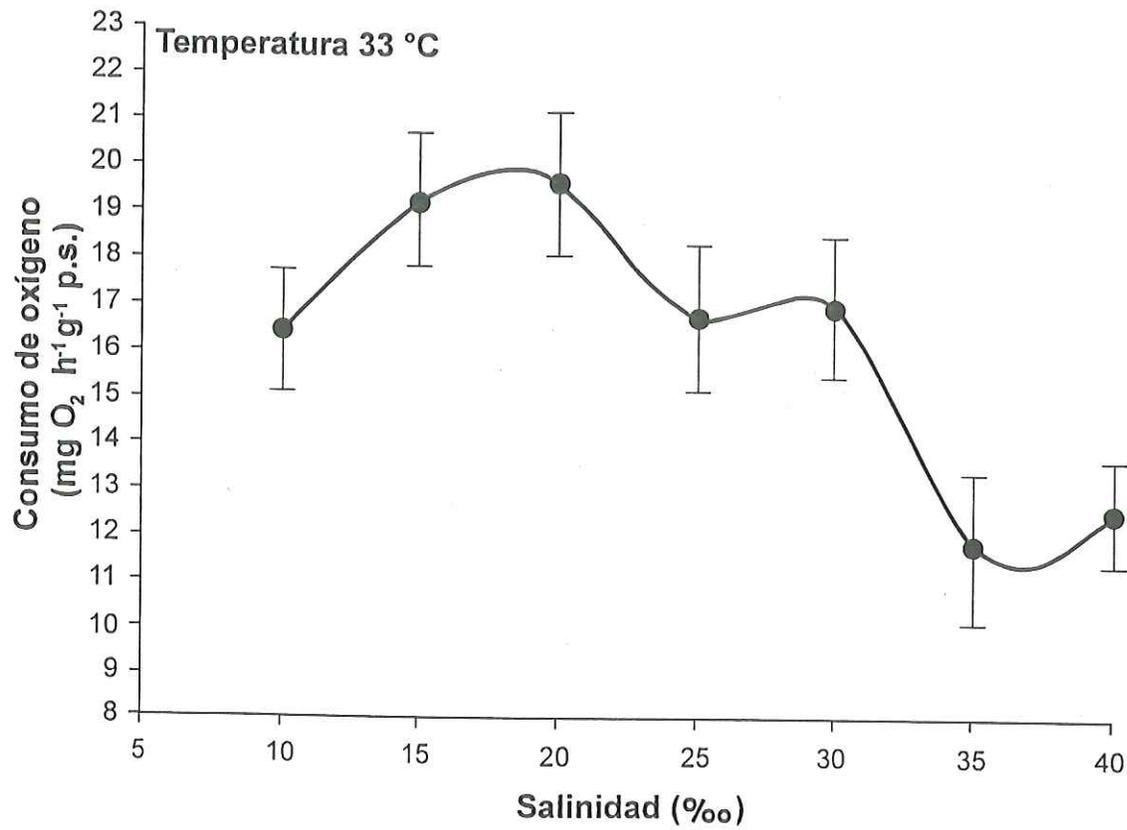


Figura 4. Consumo de oxígeno (mg O₂ h⁻¹ g⁻¹ p.s.) en *Litopenaeus stylirostris* aclimatado a la temperatura de 33 °C y expuesto a diferentes salinidades. Mediana ± I. C.

Tabla II. Análisis de varianza de dos vías, del efecto de la temperatura (23, 28 y 33 °C) y la salinidad (10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 ‰) sobre el consumo de oxígeno de *Litopenaeus stylirostris*.

CONSUMO DE OXÍGENO					
FUENTE DE VARIACIÓN	G. L.	S. C.	C. M.	F	P
Temperatura	2	3269.2	1634.6	121.92	< 0.0001
Salinidad	6	475.2	79.2	5.91	< 0.0001
Temperatura					
X	12	953.6	79.5	5.93	< 0.0001
Salinidad					
Residual	589	7897.0	13.4		
Total	609	13886.4	22.8		

IV. 2. Gasto energético en la respiración de Litopenaeus stylirostris

En la temperatura de 23 °C y en la salinidad de 10 ‰ el gasto energético del camarón azul fue de 217.24 Joules por p.s., se incrementó en un 2.6 % en 15 ‰; y a partir del intervalo de salinidades de 20 a 40‰ se obtuvo una disminución en el gasto energético de 210.07 a 186.82 Joules p.s.

En los camarones aclimatados a 28 °C la energía utilizada para el consumo de oxígeno fue relativamente constante, disminuyó en las salinidades de 10 a 15 ‰ siendo los valores de 313.95 a 279.06 Joules p.s.; se incrementó de 281.00 a 339.14 Joules p.s. en las salinidades de 20 y 25 ‰; disminuyó de 317.82 a 284.88 en las salinidades de 30 a 35 ‰ y se incrementó de 35 a 40 ‰ siendo los valores de 228.88 a 308.13 Joules p.s.

En la temperatura de 33 °C se registraron los mayores valores del gasto energético en las salinidades bajas (10 a 20 ‰) gastaron de 317.82 a 379.8 Joules p.s.; y a partir de las salinidades de (25 a 40 ‰) los valores disminuyeron de 325.57 a 281.00 Joules p.s. El factor que afectó significativamente ($p < 0.05$) la energía canalizada hacia la tasa respiratoria fue la temperatura. No hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) entre la interacción de la temperatura y la salinidad sobre el gasto energético (Tabla III).

IV. 3. Q_{10}

Los valores de Q_{10} para los organismos en el intervalo de temperaturas de 23 a 28 °C. fueron entre 1.6 a 2.7. Para el intervalo de 28 a 33 °C se obtuvieron valores de 0.9 a 1.8; para ambos intervalos de temperatura se tomó en consideración la exposición de los organismos a las siete salinidades experimentales (Tabla IV).

Tabla III. Análisis de varianza de dos vías, con respecto al efecto de la temperatura (23, 28 y 33 °C) y la salinidad (10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 ‰) sobre el gasto energético en el metabolismo respiratorio de *Litopenaeus stylirostris*.

GASTO ENERGÉTICO					
FUENTE DE VARIACIÓN	G. L.	S. C.	C. M.	F	P
Temperatura	2	52299.4	26149.7	24.72	< 0.0001
Salinidad	6	7469.4	1244.9	1.18	0.3801
Residual	12	12694.3	1057.9		
Total	20	72463.2	3623.2		

Tabla IV. Q_{10} de *Litopenaeus stylirostris* aclimatado a las diferentes salinidades experimentales.

Salinidad ‰	Q_{10}	
	23-28 °C	28-33 °C
10	2.1	1.0
15	1.6	1.8
20	1.8	1.8
25	2.7	1.1
30	2.5	0.9
35	2.0	1.6
40	2.7	1.2

IV. 4. Excreción de amonio

Se obtuvo una relación directa entre la excreción de amonio y la temperatura (Figuras 5, 6 y 7). En los organismos aclimatados a 23 °C la tasa de excreción de amonio tuvo un intervalo de 0.072 a 0.160 mg de NH_4^+ h^{-1} g^{-1} p. s.; en los camarones mantenidos en 28 °C el intervalo fue de 0.195 a 0.284 mg de NH_4^+ h^{-1} g^{-1} p. s. y en los expuestos a 33 °C fue de 0.189 a 0.714 mg de NH_4^+ h^{-1} g^{-1} p. s.

La tasa de excreción de amonio fue afectada de manera significativa ($p < 0.05$) por la salinidad. En los organismos aclimatados a las temperaturas de 23 y 33 °C se obtuvo una relación inversamente proporcional de la producción de amonio en las salinidades bajas (10 a 15 ‰) y disminuyó la tasa de excreción de amonio a medida que se incrementaba la salinidad de 20 a 40 ‰ (Figuras 5 y 7).

En los organismos expuestos a 28 °C la excreción de amonio se mantuvo relativamente constante ($p > 0.05$) en todo el intervalo de salinidades experimentales (Figura 6).

Con respecto al efecto de la temperatura y la salinidad sobre la producción de amonio, al utilizar el análisis de varianza de dos vías se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$). Existió interacción significativa ($p < 0.05$) de la temperatura y la salinidad sobre la excreción de amonio (Tabla V).

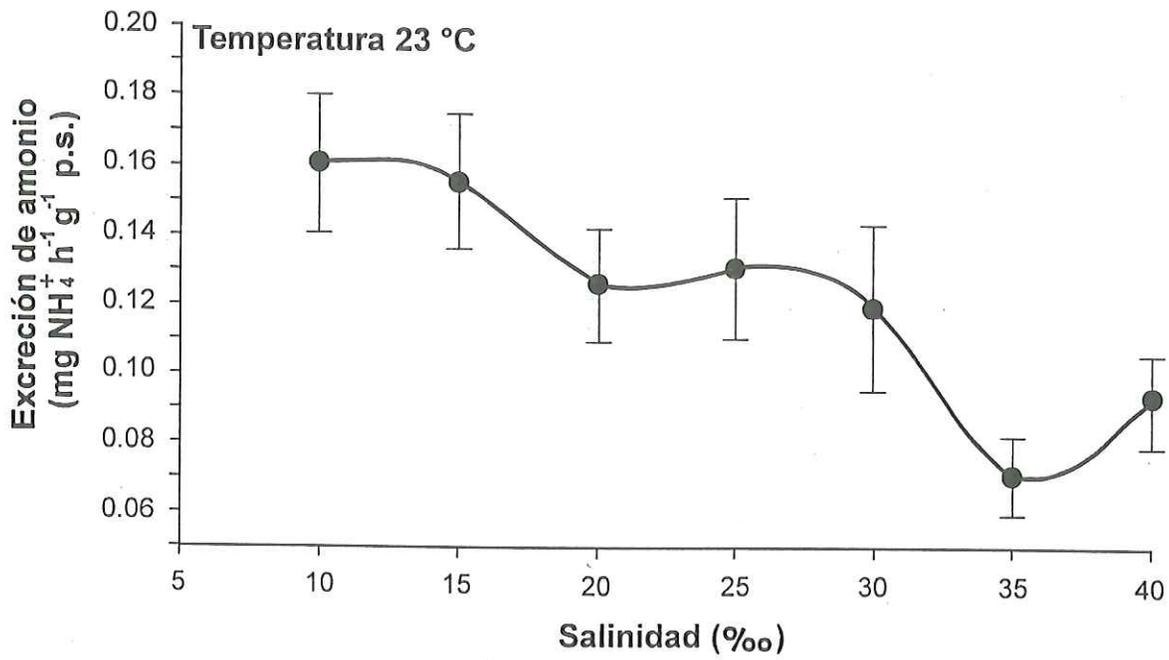


Figura 5. Excreción de amonio (mg NH₄⁺ h⁻¹ g⁻¹ p.s.) en *Litopenaeus stylirostris* aclimatado a la temperatura de 23 °C y expuesto a diferentes salinidades. Mediana ± I. C.

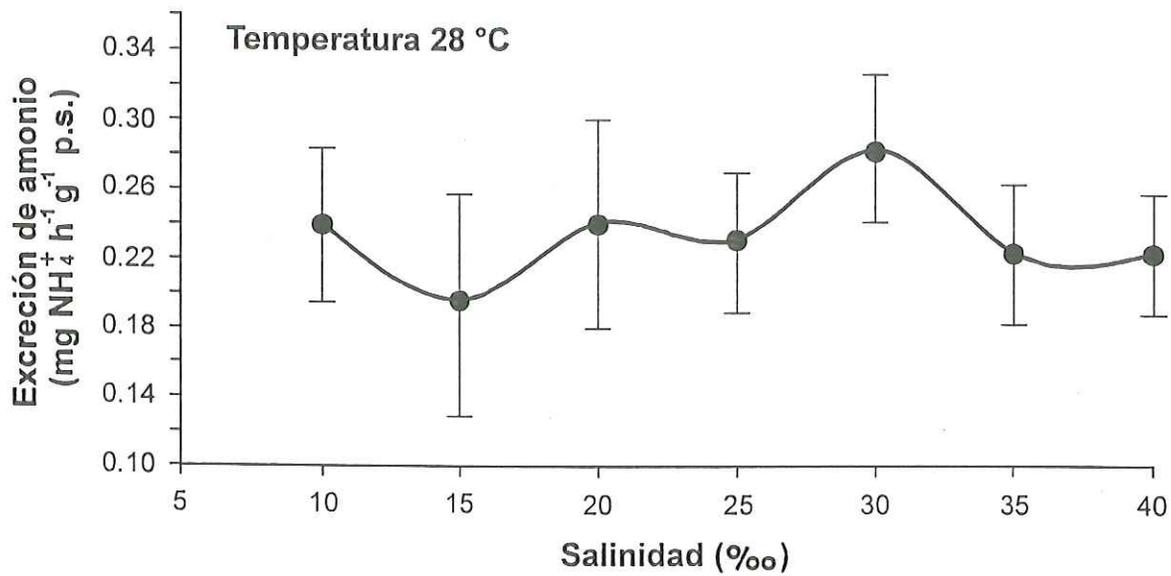


Figura 6. Excreción de amonio (mg NH₄⁺ h⁻¹ g⁻¹ p.s.) en *Litopenaeus stylirostris* aclimatado a la temperatura de 28 °C y expuesto a diferentes salinidades. Mediana±I. C.

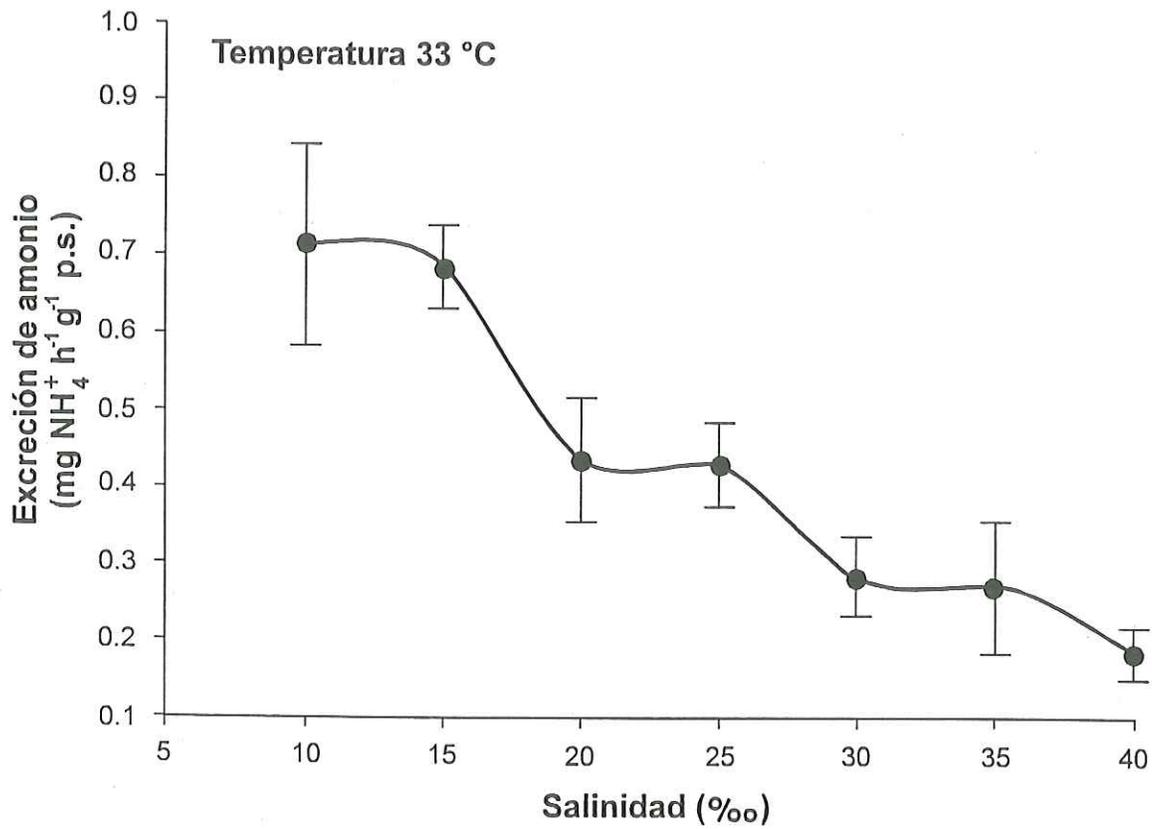


Figura 7. Excreción de amonio (mg NH₄⁺ h⁻¹ g⁻¹ p.s.) en *Litopenaeus stylirostris* aclimatado a la temperatura de 33 °C y expuesto a diferentes salinidades. Mediana ± I. C.

Tabla V. Análisis de varianza de dos vías, del efecto de la temperatura (23, 28 y 33 °C) y la salinidad (10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 ‰) sobre la excreción de amonio de *Litopenaeus stylirostris*

EXCRECIÓN DE AMONIO					
FUENTE DE VARIACIÓN	G. L.	S. C.	C. M.	F	P
Temperatura	2	10.26	5.1318	324.9	< 0.0001
Salinidad	6	2.66	70.4439	28.1	< 0.0001
Temperatura X Salinidad	12	5.07	0.4227	26.8	< 0.0001
Residual	575	9.08	0.0158		
Total	595	31.33	0.0527		

IV. 5. Relación atómica O:N

El principal sustrato metabólico que utilizaron los organismos fueron los carbohidratos en las temperaturas de 23 y 28 °C y en todas las salinidades experimentales, con un intervalo de la relación atómica O:N de 76 a 118 (Figura 8) y de 60 a 85 (Figura 9) respectivamente.

En los camarones expuestos a la temperatura de 33 °C, se observó un cambio en la utilización del sustrato metabólico siendo una mezcla de proteínas-lípidos en las salinidades de 10 ‰ (O:N = 25), 15 ‰ (O:N = 32), 20 ‰ (O:N = 44) y en 35 ‰ (O:N = 44); en tanto que en las salinidades de 30 ‰ y 40 ‰, los organismos catabolizaron carbohidratos como la principal fuente energética con valores de 67 y 87 respectivamente (Figura 10).

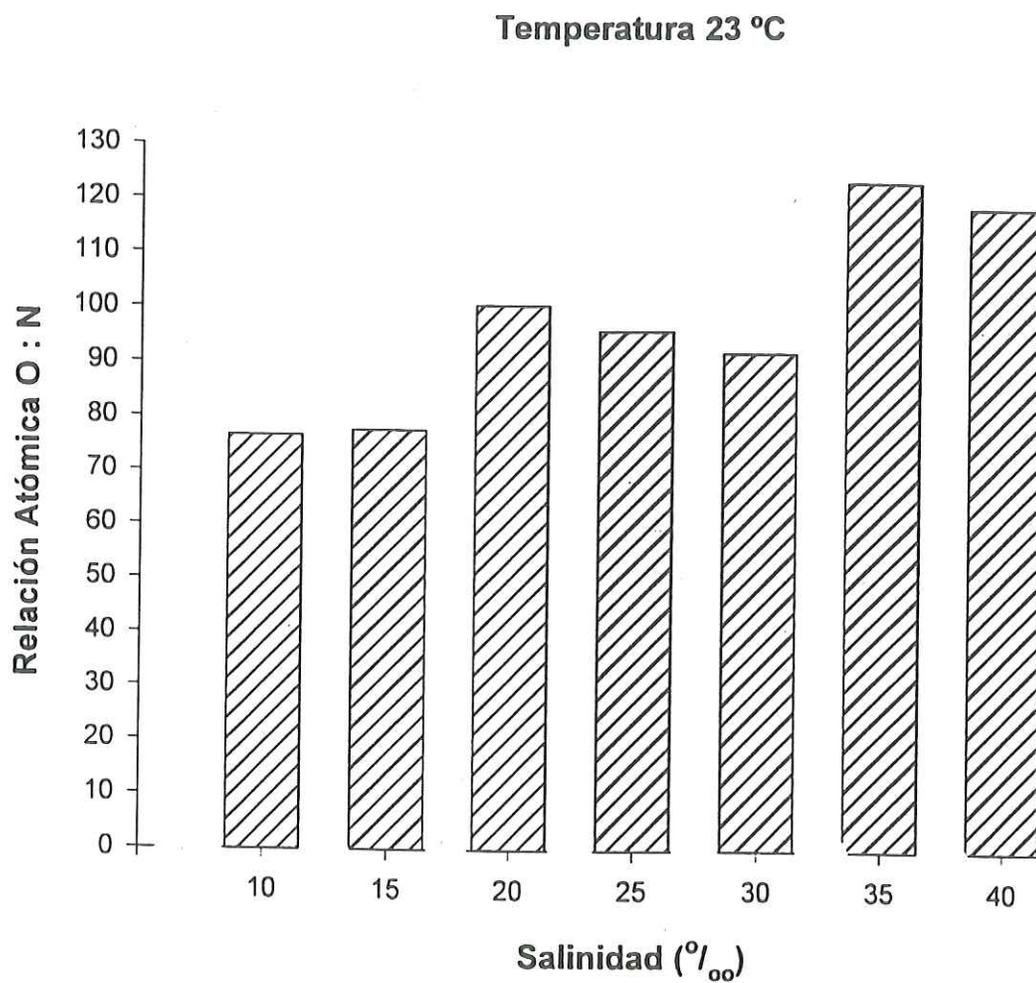


Figura 8. Relación atómica O:N en *Litopenaeus stylirostris* aclimatado a la temperatura de 23 °C y siete salinidades.

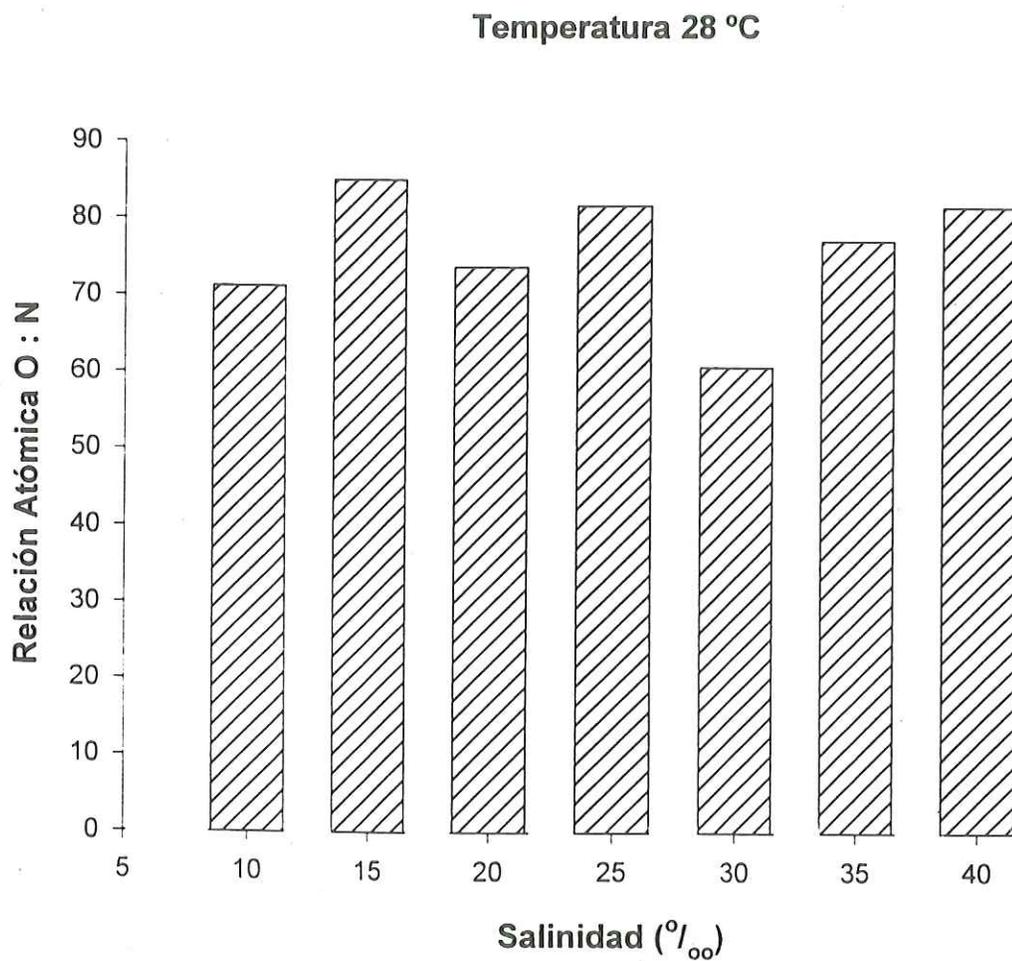


Figura 9. Relación atómica O:N en *Litopenaeus stylirostris* aclimatado a la temperatura de 28 °C y siete salinidades.

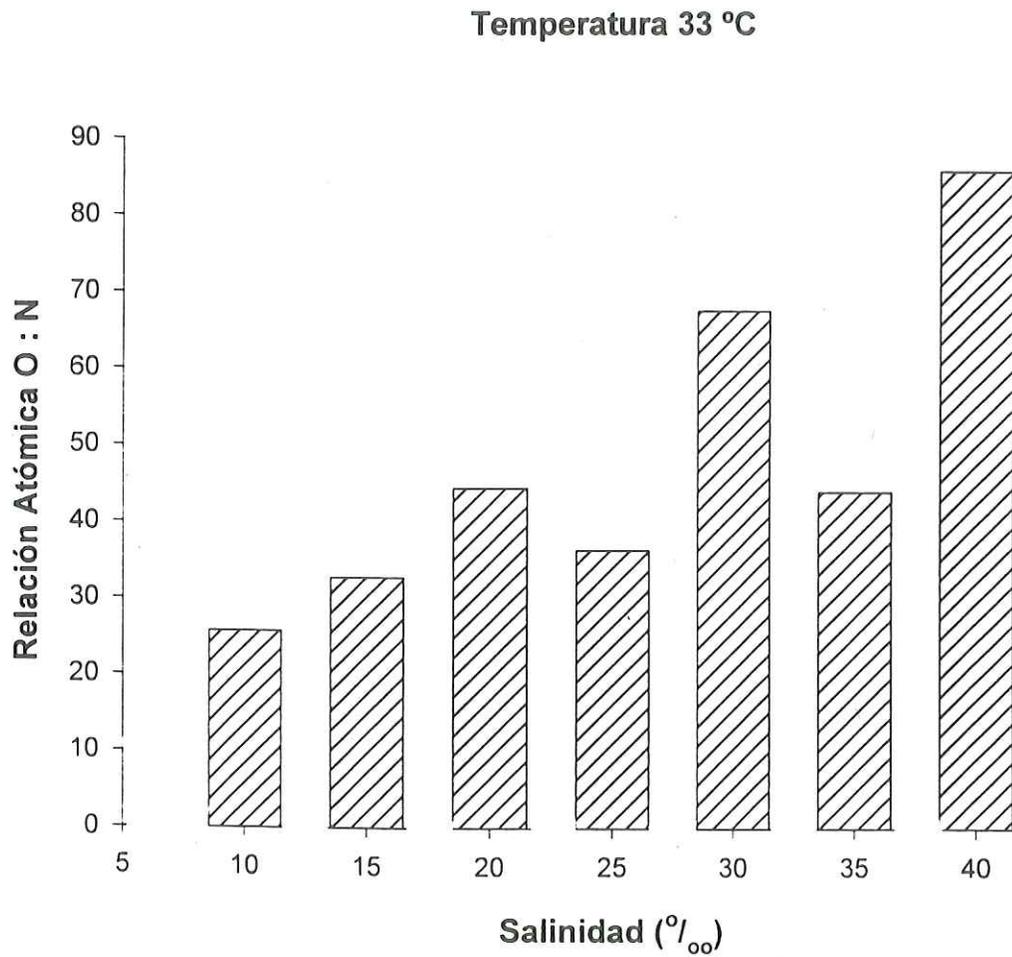


Figura 10. Relación atómica O:N en *Litopenaeus stylirostris* aclimatado a la temperatura de 33 °C y siete salinidades.

IV. 6. Presión osmótica

La presión osmótica de la hemolinfa de *Litopenaeus stylirostris* se incrementó al aumentar la osmolaridad del medio externo.

Los organismos aclimatados a 23, 28 y 33 °C y mantenidos en las salinidades de 10 a 20 ‰ (307 a 563 mmol Kg⁻¹) tuvieron un patrón de regulación hiperosmótico, siendo las concentraciones de su medio interno de 604 a 654 mmol kg⁻¹ (Figura 11), de 590 a 639 mmol kg⁻¹ (Figura 12) y de 595 a 645 mmol kg⁻¹ (Figura 13).

Al incrementarse la osmolaridad del medio externo de 752 a 1186 mmol Kg⁻¹ (25 a 40 ‰) en las temperaturas de 23 y 28 °C, la osmolaridad de la hemolinfa fue hiposmótica, con una concentración de 674 a 800 mmol kg⁻¹ en 23 °C (Figura 11), y de 670 a 750.5 mmol kg⁻¹ en 28 °C (Figura 12).

En cambio en la temperatura de 33 °C y en las salinidades de 25 a 35 ‰ (752.16 a 1042.16 mmol Kg⁻¹) la concentración de la hemolinfa de *L. stylirostris* fue hiposmótica siendo los valores del medio interno de 666 a 768 mmol kg⁻¹; a partir de la salinidades de 35 a 40 ‰ (1042.16 a 1186.0 mmol Kg⁻¹) la tendencia fue hacia hiposmoconformarse, con concentraciones del medio interno de 768 a 950 mmol kg⁻¹ (Figura 13).

Los puntos isosmóticos obtenidos gráficamente fueron: **a)** en la temperatura de 23 °C fue de 666 mmol Kg⁻¹ (23.31 ‰); **b)** en 28 °C, fue de 654 mmol kg⁻¹ (19.74 ‰) y **c)** en 33 °C fue de 655 mmol kg⁻¹ (22.92 ‰).

Los puntos isosmóticos calculados mediante la ecuación de Ferraris *et al.*

(1986) fueron para los camarones aclimatados a 23 °C y 33 °C, 10 y 33 mmol Kg⁻¹, mayores que los calculados gráficamente, mientras que en los mantenidos a 28 °C se obtuvo un valor similar (655 mmol Kg⁻¹).

La pendiente a partir de la regresión lineal es otro factor que sirvió para determinar si un organismo es un buen regulador ($b = 0$) o es un osmoconformador ($b = 1$); en el camarón azul aclimatados a 23, 28 y 33 °C los valores de las pendientes fueron 0.241, 0.161 y 0.350 respectivamente.

La osmolaridad de la hemolinfa de los organismos fue afectada directamente por el efecto de la temperatura y salinidad, se corroboraron estos resultados mediante el análisis de varianza de dos vías. Además hubo interacción significativa ($p < 0.05$) de la temperatura y la salinidad sobre la osmolaridad del medio interno (Tabla VI).

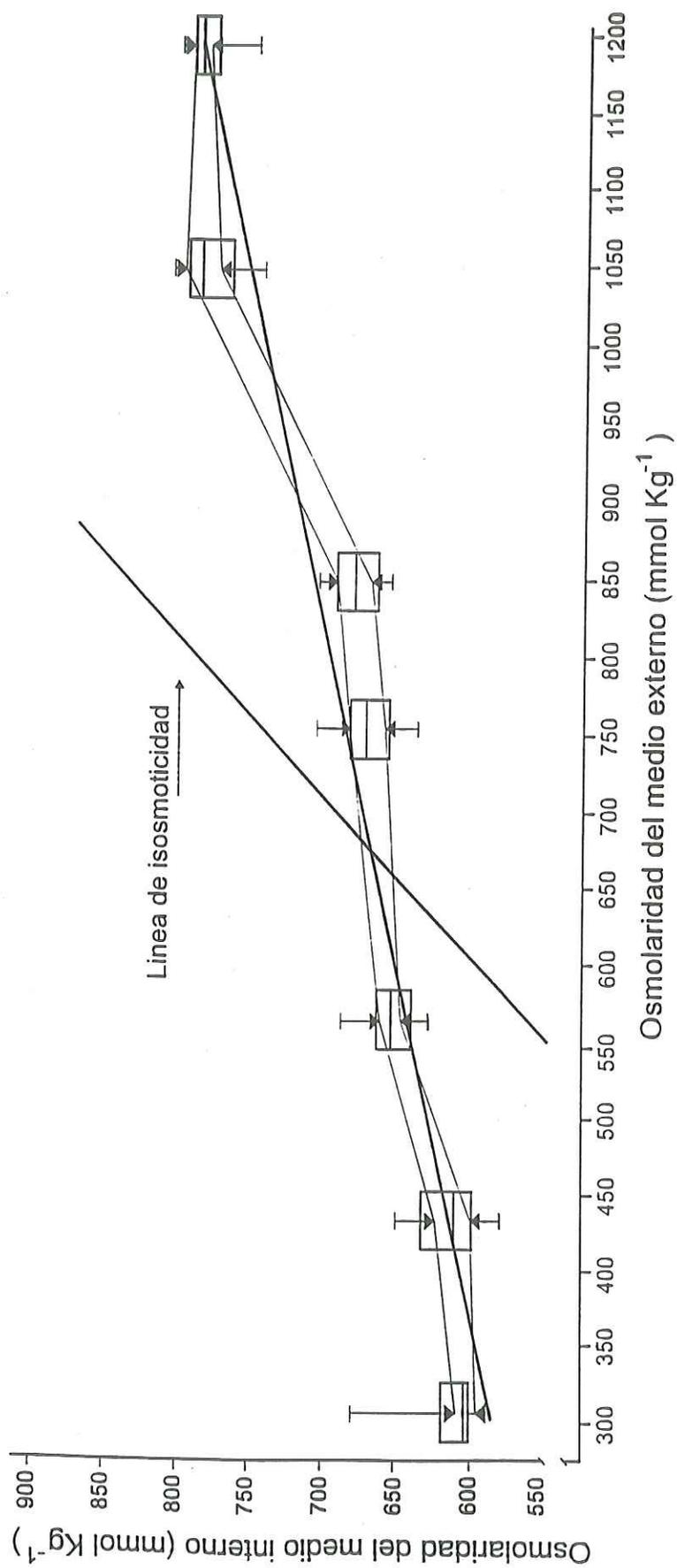


Figura 11. Determinación de la presión osmótica de la hemolinfa del camarón azul *Litopenaeus stylirostris* aclimatado a la temperatura de 23 °C y siete salinidades. Medianas \pm I. C.

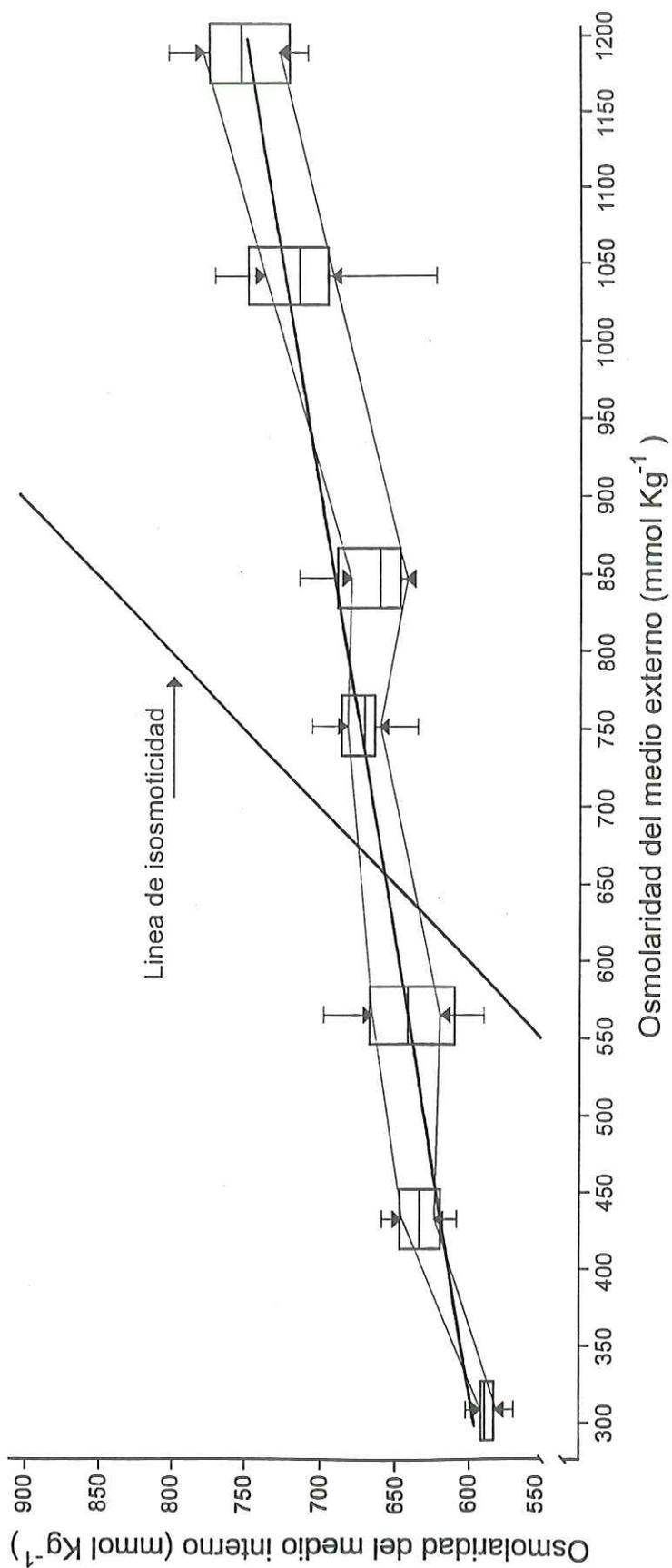


Figura 12. Determinación de la presión osmótica de la hemolinfa del camarón azul *Litopenaeus stylirostris* aclimatado a la temperatura de 28 °C y siete salinidades. Medianas \pm I. C.

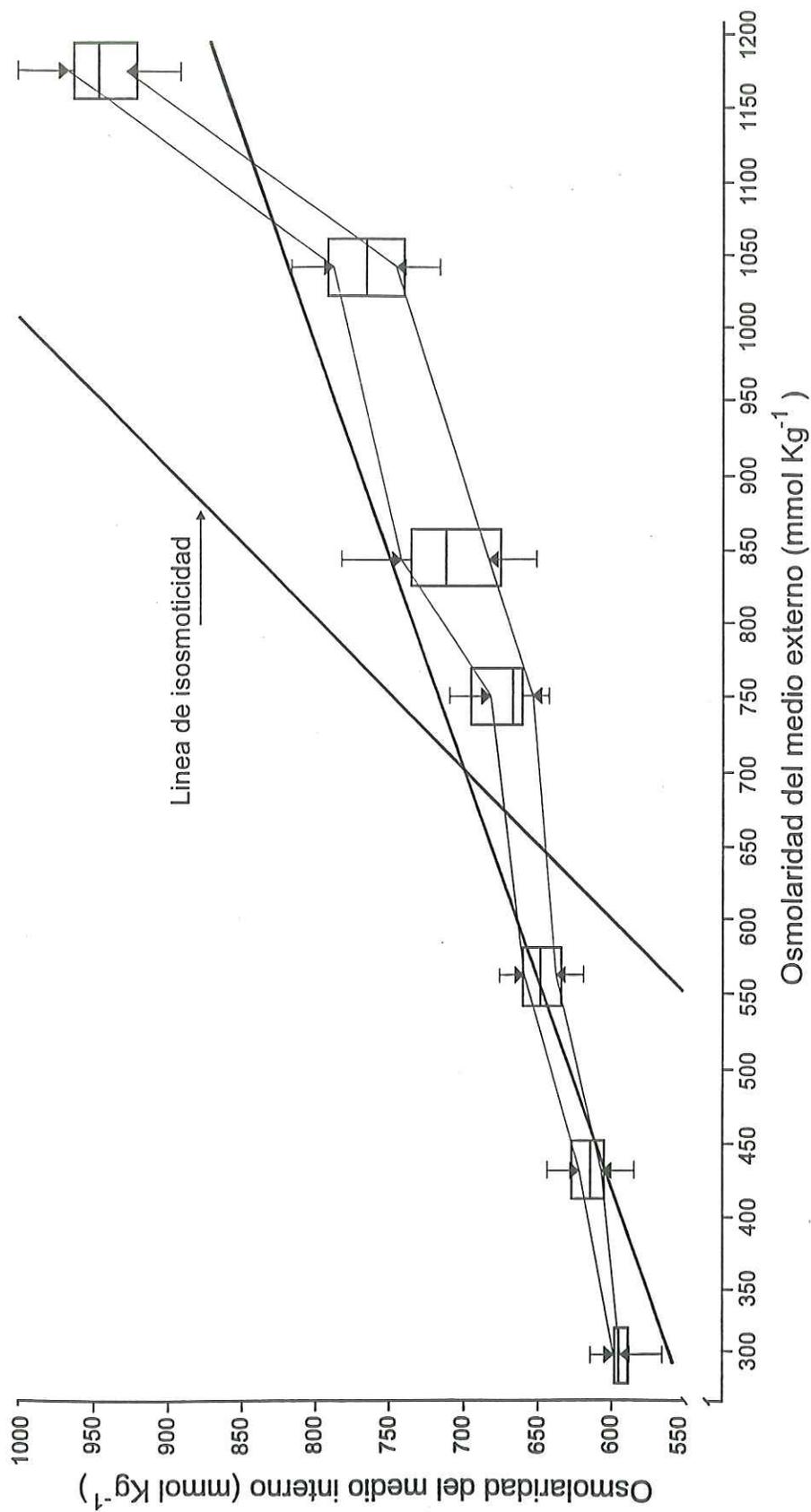


Figura 13. Determinación de la presión osmótica de la hemolinfa del camarón azul *Litopenaeus stylirostris* aclimatado a la temperatura de 33 °C y siete salinidades. Medianas \pm I. C.

Tabla VI. Análisis de varianza de dos vías, con respecto al efecto de la temperatura (23, 28 y 33 °C) y la salinidad (10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 ‰) sobre la concentración de la hemolinfa de *Litopenaeus stylirostris*.

CONCENTRACIÓN DE LA HEMOLINFA					
FUENTE DE VARIACIÓN	G. L.	S. C.	C. M.	F	P
Temperatura	2	73144.3	36572.2	68.6	< 0.0001
Salinidad	6	1515607.5	252601.2	473.7	< 0.0001
Temperatura X Salinidad	12	227274.7	18939.6	35.5	< 0.0001
Residual	259	138119.2	533.3		
Total	279	1924723.6	6898.7		

IV. 7. Permeabilidad

Los organismos aclimatados a la temperatura de 23 °C y expuestos al intervalo de salinidades de 10-40 ‰ tuvieron del 75.5 a 76.6 % de agua en el tejido; en los camarones mantenidos a 28 °C la permeabilidad varió solo en 2 % menos. En los camarones expuestos a 33 °C la cantidad de agua en el tejido fue entre 74.8 a 78.7 % Por lo tanto la cantidad de agua en el tejido fue inversamente proporcional a la temperatura y la salinidad (Figura 14); siendo esta última variable la que alteró ($p < 0.05$) los niveles de agua en el tejido de los organismos (tabla VII).

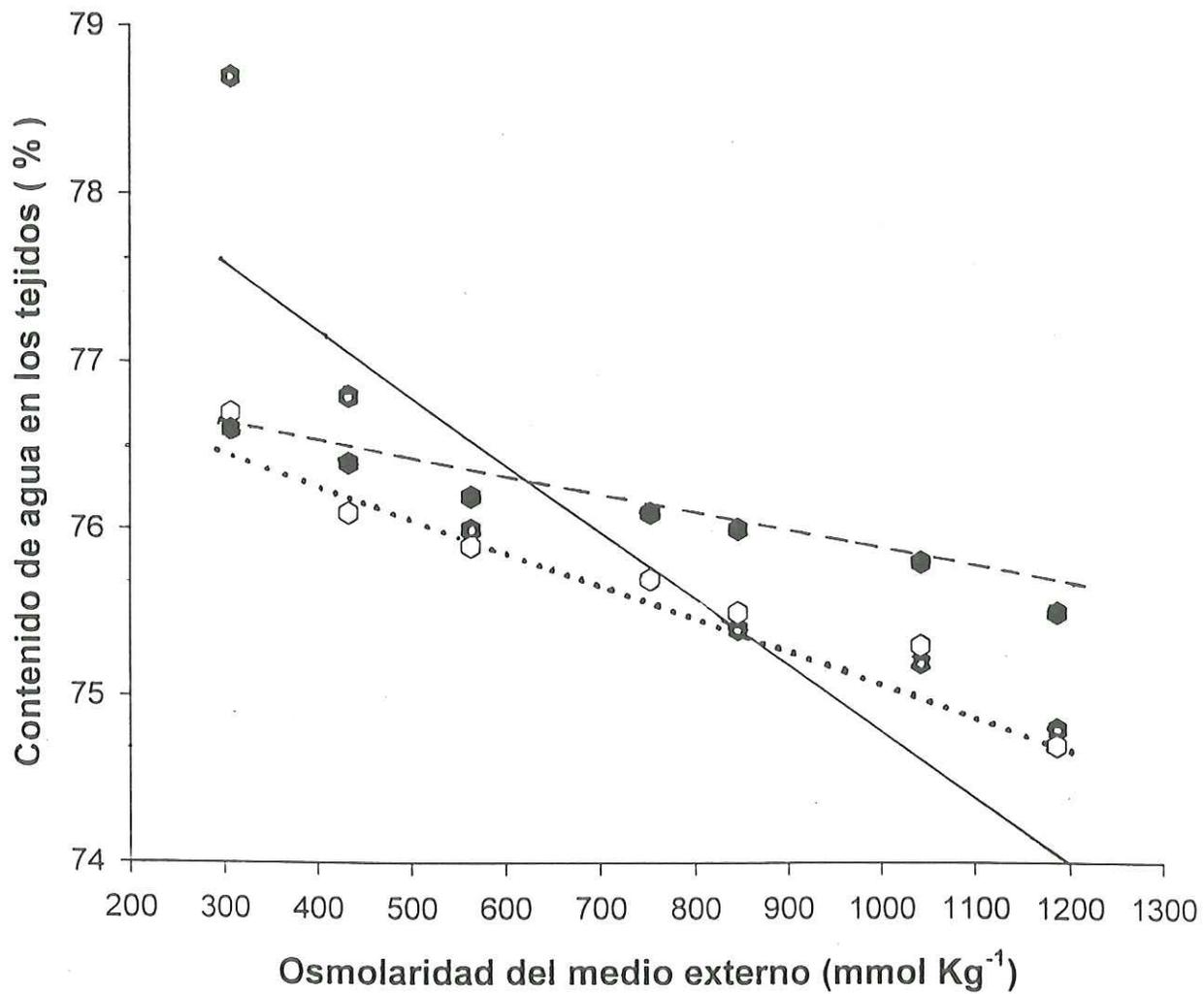


Figura 14. Determinación de la cantidad de agua en el tejido del camarón azul *Litopenaeus stylirostris* aclimatado a las temperaturas de 23 (◆), 28 (◇) y 33 °C (◇) y a siete salinidades.

Tabla VII. Análisis de varianza de dos vías, con respecto al efecto de la temperatura (23, 28 y 33 °C) y la salinidad (10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 ‰) sobre la permeabilidad de *Litopenaeus stylirostris*.

CONTENIDO DE AGUA EN LOS TEJIDOS

FUENTE DE VARIACIÓN	G. L.	S. C.	C. M.	F	P
Temperatura	2	0.328	0.164	1.25	0.3201
Salinidad	6	4.865	0.811	6.21	< 0.0037
Residual	12	1.567	0.131		
Total	20	6.760	0.338		

V. DISCUSIÓN

V.1. Consumo de oxígeno, gasto energético y Q_{10} .

El consumo de oxígeno de los crustáceos se ve afectado por factores extrínsecos como la temperatura del agua y la salinidad (Kutty *et al.*, 1971; Bishop *et al.*, 1980; Gaudy y Sloane, 1981; Dalla Via, 1986). Kinne (1967) propuso una clasificación con respecto al efecto de la salinidad sobre el consumo de oxígeno de los organismos acuáticos, representado por: (I) la tasa de consumo de oxígeno de los organismos no es afectada por los cambios de la salinidad, (II) La tasa de consumo de oxígeno se incrementa en bajas salinidades y disminuye en altas. (III) la tasa metabólica se incrementa en bajas y altas salinidades y (IV) en especie inactivas, la tasa en el consumo de oxígeno disminuye cuando se les transfiere a diferentes salinidades.

Bishop *et al.* (1980) observaron un incremento en el metabolismo respiratorio de juveniles de *Penaeus aztecus*, conforme aumentaban las temperaturas de aclimatación de 18 a 33 °C. Kurmaly *et al.* (1989) reportaron que el incremento en el consumo de oxígeno de *P. monodon*, se debió al tamaño de los organismos y al incremento de las temperaturas experimentales a las que fueron expuestos. El cangrejo *Scylla serrata* consumió 8 veces más oxígeno al aclimatarlo a la temperatura de 32 °C que cuando fue mantenido a la temperatura de 16 °C (Chen y Chia, 1996). Villarreal y Ocampo (1993) mencionaron que los juveniles de *P. californiensis* incrementaron significativamente su tasa metabólica al ser expuestos a la temperatura de 35 °C, ya que su límite superior de adaptación a la temperatura esta entre los 31-35 °C. *P. semisulcatus* disminuyó su tasa respiratoria al aumentar la temperatura de 25 a 27 °C (Clark, 1992).

La tendencia del consumo de oxígeno del camarón azul obtenida en el presente estudio fue similar a la reportada para estas especies, ya que los organismos consumieron una mayor cantidad de oxígeno en la temperatura de 33 °C, siendo 1.5 veces mayor que en 23 °C; esto se debe por ser la temperatura la medida de la agitación molecular, la cual determina la tasa de las reacciones químicas, aumentos o disminuciones en la temperatura ambiental causan variaciones en el consumo de oxígeno afectando la fisiología respiratoria de los organismos, por lo que es a su vez un factor que interviene en la distribución, en el control del metabolismo y el crecimiento de los camarones (Kulkarni y Joshi, 1979; Díaz, 1988; Prosser, 1991).

Rosas *et al.* (1997) mencionaron que en postlarvas de *P. setiferus* el consumo de oxígeno se incrementó conforme disminuyó la salinidad del medio. Dalla Via (1986) reportó que el consumo de oxígeno en juveniles de *P. japonicus* incrementó rápidamente a 300 % respecto al valor inicial al ser expuestos a cambios bruscos de salinidad de 37 a 10 ‰. En este estudio la aclimatación de los organismos a cada salinidad experimental fue de 5 días; debido a esto los incrementos en el consumo de oxígeno de los camarones en las bajas salinidades fueron sólo 70 % mayores, que al exponerlos a las altas salinidades. Este hecho concuerda con lo mencionado por Gaudy y Sloane (1981), de que las respuestas metabólicas dependen del tiempo de adaptación a las salinidades experimentales a las que se les someten.

Juveniles de *P. chinensis* (Chen y Nan, 1993) y *P. japonicus* (Kulkarni y Joshi, 1980) incrementaron su tasa metabólica a medida que aumentaban las temperaturas de aclimatación, así como cuando se expusieron a medios hiperhiposmóticos. En este trabajo el consumo de oxígeno de los organismos fue alto en la temperatura de aclimatación de 33 °C y en las bajas salinidades, además se obtuvieron los mayores valores en esta temperatura comparativamente con los

obtenidos en las temperaturas de 23 y 28 °C. El consumo de oxígeno *L. stylirostris* aclimatados a las temperaturas de 23 y 33 °C y expuestos a las diferentes salinidades presentó la respuesta tipo II propuesta por Kinne (1967), donde la tasa metabólica de los organismos se incrementó en las bajas salinidades y disminuyó en las altas.

Este comportamiento en el consumo de oxígeno en los camarones puede provocar una alteración en las funciones fisiológicas y la posible disminución del crecimiento de los organismos, ya que la combinación de temperaturas y salinidades desfavorables afectan la tasa respiratoria de los animales incrementando el uso de energía adicional para mantener su condición fisiológica homeostática (Chen y Lai 1993; Chen y Chia, 1996).

En este estudio la respuesta del metabolismo respiratorio de *L. stylirostris* en la temperatura de aclimatación de 28 °C fue estable en todo el intervalo de salinidades al que fue expuesto. Este patrón de consumo de oxígeno obtenido fue similar al reportado por Kutty *et al.* (1971) para *P. indicus*, quienes observaron que el consumo no se modificó por el efecto de las salinidades (7, 21 y 35 ‰). Gaudy y Sloane (1981) obtuvieron que el consumo de oxígeno de *Penaeus stylirostris* y *P. monodon* permaneció constante al aclimatarlos a la temperatura de 27 °C, y al exponerlos a las salinidades de 2 a 35 ‰. Scelzo y Zúñiga (1987) obtuvieron valores estables en el consumo de oxígeno de *P. brasiliensis* al ser aclimatados en 25 y 30 °C y al exponerlos a 20, 36 y 50 ‰. Díaz *et al.* (1992) obtuvieron valores constantes en el consumo de oxígeno de *Callinectes similis* al aclimatarlos a 29 °C y a salinidades fluctuantes (35-12-35 ‰) en un ciclo de 24 horas. Scelzo y Zúñiga (1987) y Díaz *et al.* (1992) señalaron que cuando los organismos se hallan en un intervalo térmico favorable no modifican su tasa de respiración, ya que existe una independencia del metabolismo respiratorio cuando las condiciones son las adecuadas para su desarrollo. Estas observaciones se reflejaron en este

estudio en los camarones aclimatados a 28 °C y expuestos al intervalo de salinidades de 10 a 40 ‰, donde se obtuvo que el consumo de oxígeno de *L. stylirostris* se mantuvo constante y su respuesta fue similar al tipo I propuesto por Kinne (1967).

Bishop *et al.* (1980) reportaron que conforme aumenta la temperatura *P. aztecus* usa una mayor cantidad de energía para mantener su metabolismo. De manera similar, en este estudio *L. stylirostris* en la temperatura de 33 °C utiliza una mayor cantidad de energía para mantener su condición fisiológica estable, comparativamente con las condiciones de 28 y 23 °C. Este incremento en la utilización de energía por parte de los organismos se debe a lo mencionado por Chen y Chia (1996), que los peneidos consumen una mayor cantidad de oxígeno en las altas temperaturas para poder mantener su estabilidad fisiológica. La respuesta de *L. stylirostris* en este trabajo con respecto a los valores del gasto energético que emplearon los organismos para el metabolismo respiratorio en la temperatura de 28 °C y en todo el intervalo de salinidades, fue similar a lo reportado por Rosas *et al.* (1997) en *P. schmitti*, el cual mantuvo constante la cantidad de energía canalizada para el metabolismo en el intervalo de salinidades de 15 a 30 ‰.

Dimock y Groves (1975) mencionaron que el consumo de oxígeno de los animales varía de un medio térmico favorable (Q_{10} menores a 2) a uno termalmente sensible (Q_{10} iguales o mayores a 3) implicando alteraciones en las funciones fisiológicas. En *Catostomus tahoensis*, en bajas temperaturas (8 a 13 °C) se obtuvieron valores del Q_{10} de 2.03 y 2.26, lo que representó una condición favorable, y al incrementar la temperatura de 13 a 18 °C los valores del Q_{10} fueron de 4.13 y 3.39, lo cual reflejó que en los organismos no hubo una compensación metabólica en esta última condición experimental (Vondracek *et al.*, 1982). En juveniles y adultos de *P. monodon* se reportaron valores del Q_{10} menores a 2 en

el intervalo de temperaturas de 20-30 °C (Kurmaly *et al.*, 1989). En *Palaemon serratus*, tuvo un Q_{10} menor a 2.5 en todo el intervalo de salinidades al que fue expuesto (Yagi *et al.*, 1990). Villarreal y Ocampo (1993) señalaron que los valores del Q_{10} en juveniles de *P. californiensis*, en el intervalo de 19-35 °C fueron menores a 2 lo que significa que estos organismos tuvieron una capacidad de adaptación a cambios en la temperatura en tiempos cortos. En cambio al exponer a *P. californiensis* a bajas temperaturas de 19 a 23 °C, los valores en el Q_{10} se incrementaron (Villarreal y Rivera, 1993). En este estudio, en el intervalo de temperaturas de 23 a 28 °C, se obtuvieron en *L. stylirostris* los mayores valores del Q_{10} , siendo sensibles los organismos a las variaciones termales del ambiente, y concuerdan con lo mencionado por Villarreal y Rivera (1993), que los organismos modifican su metabolismo respiratorio en las temperaturas extremas para ajustar su medio interno. En este estudio, en el camarón azul expuesto al intervalo temperaturas de 28 a 33 °C, los valores del Q_{10} fueron menores a 2, y similares con los reportados para *Cichlasoma managuense*, expuesto a un intervalo de temperaturas de 27 a 32 °C, siendo los valores menores a 2 lo que representa un ahorro de energía para cumplir con las funciones metabólicas del organismo; por lo que esta especie tiene la capacidad para desarrollarse en temperaturas elevadas (Yagi *et al.*, 1990 Lezama y Günter 1992).

V.2. Excreción de amonio y relación atómica O:N

En juveniles de *P. indicus*, la excreción de amonio estuvo directamente relacionada con el incremento en la temperatura (Gerhardt, 1980). Chen y Nan (1993) y Chen y Lai (1993), obtuvieron que la tasa de excreción nitrogenada aumentó en juveniles de *P. chinensis* y en *P. japonicus* al ser expuestos a temperaturas altas y bajas salinidades. En *Callinectes sapidus* al disminuir la salinidad de 35 a 28 ‰, la producción de amonio aumentó el doble (Mangum *et al.*, 1976). En *Crangon crangon* la producción de amonio se incrementó cuando se

expuso a salinidades de 34 a 14 ‰ (Regnault, 1984). Chen y Nan (1993) en *Penaeus japonicus*, observaron que aumentó la excreción de amonio al disminuir la salinidad de 30 a 15 ‰ en todo el intervalo de temperaturas estudiadas. En *Callinectes similis*, al disminuir la salinidad, la tasa de excreción se incrementó, debido a que éstos organismos requieren de una captación activa de sodio para compensar la pérdida de iones al estar expuestos a medios hiperosmóticos (Díaz *et al.*, 1992). Hernández y Díaz (1995) observaron que la tasa de excreción de amonio en juveniles del camarón café, *Penaeus aztecus*, no se modificó por el efecto de las temperaturas experimentales, en cambio al exponer a los organismos a diferentes salinidades se obtuvo que la producción de amonio se incrementó en las bajas salinidades y disminuyó en las altas.

En este estudio en *L. stylirostris* se obtuvo que el incremento en la temperatura y la disminución en la salinidad influyeron significativamente en la producción de amonio. En la temperatura de 23 °C se presentaron los menores valores en la excreción de amonio con respecto a las temperaturas de 28 y 33 °C. Resultados similares fueron obtenidos por Chen y Nan (1993) en *P. chinensis*; Chen y Lai (1993) en *P. japonicus* y Chen y Chia (1996) en *Scylla serrata*. Las elevadas tasas de excreción de amonio del camarón azul que se cuantificaron en este estudio cuando fueron expuestos a las bajas salinidades con respecto a las temperaturas de 23 y 33 °C, se debió a un incremento en el catabolismo de los aminoácidos, involucrando a su vez la regulación osmótica. Esta respuesta ha sido reportada en otras especies de crustáceos expuestos a cambios de salinidad como *Carcinus maenas*, *Crangon crangon*, *Callinectes similis*, *Penaeus japonicus*, *P. aztecus* y *Scylla serrata* (Haberfield *et al.*, 1975; Regnault, 1984; Díaz *et al.*, 1992; Chen y Lai, 1993; Chen y Nan, 1994; Hernández y Díaz, 1995; Chen y Lin, 1995).

En este estudio la tasa de excreción de amonio de *L. stylirostris* en la

temperatura de 28 °C se mantuvo relativamente constante en todo el intervalo de salinidades, comportamiento similar a lo reportado para el consumo de oxígeno. Sin embargo, en la literatura no existen reportes sobre la estabilidad de la producción de amonio para otras especies en función de la temperatura y la salinidad. Esto sugiere que en este estudio la temperatura de 28 °C fue la óptima para la especie, por lo que el gasto energético fue eficiente para mantener niveles en el consumo de oxígeno y excreción de amonio relativamente constantes esta situación coincide con Chen y Chia (1996) al mencionar que los procesos fisiológicos se llevan a cabo de manera eficiente cuando los animales utilizan una mínima parte de energía para el mantenimiento.

Las respuestas respiratorias y excretorias se relacionan directamente con los valores de la relación atómica O:N, por ejemplo, en *Callinectes similis* expuesto a salinidades fluctuantes, Díaz *et al.* (1992) observaron que en altas salinidades catabolizó carbohidratos y en bajas utilizó una mezcla de lípidos-carbohidratos. Chen y Nan (1994) determinaron el tipo de sustrato metabólico que utilizaron cinco especies de peneidos aclimatados a una temperatura de 25 °C y a una salinidad de 30 ‰, obteniendo que para *Metapenaeus ensis* y *P. japonicus*, predominó el catabolismo de proteínas, y en *P. monodon*, *P. penicillatus* y *P. chinensis*, se catabolizaron principalmente lípidos.

En este estudio fue evidente el efecto de la temperatura de 33 °C sobre el sustrato energético que los organismos utilizaron, siendo una mezcla de proteínas y lípidos; éstos resultados fueron similares a los obtenidos por Chen y Lai (1993) con *Penaeus japonicus*, ya que el tipo de sustrato que utilizó ésta especie en la temperatura de 35 °C fueron proteínas y lípidos; indicando esto que la relación atómica O:N depende de la temperatura existiendo cambios en el uso del sustrato energético. En juveniles de *Macrobrachium rosenbergii*, Díaz y Bückle (1993) obtuvieron valores de la relación atómica O:N menores a 10 cuando se

expusieron a los organismos a salinidades entre 2 y 20 ‰, indicando la catabolización de proteínas; en cambio los organismos expuestos en agua dulce emplearon como sustrato metabólico los carbohidratos. En este estudio, la salinidad y la temperatura tuvieron un efecto importante sobre el tipo de sustrato que utilizó *L. stylirostris*. En las temperaturas de 23 y 28 °C, los camarones utilizaron los carbohidratos como la principal fuente energética en todo el intervalo de salinidades. Y se confirma que la temperatura favorable de acuerdo a las experiencias realizadas por Re-Araujo *et al.* (1998) con esta especie en un gradiente térmico fue la temperatura de 28 °C.

V.3. Presión osmótica y permeabilidad

Vernberg y Vernberg (1972) propusieron un esquema comparativo en cuanto a las respuestas osmorregulatorias de los organismos dulceacuícolas, salobres y marinos clasificándolos como: (I) Perfecto osmorregulador, (II) Perfecto osmoconformador, (III) Hiperosmorregulador en medios diluidos y (IV) Hiper-hiposmorregulador.

Bishop *et al.* (1980) mencionaron que la osmolaridad de la hemolinfa de *P. aztecus* fue afectada significativamente por la temperatura y la salinidad. Estas observaciones son similares a las obtenidas en este estudio, ya que se obtuvieron diferencias significativas del efecto de la temperatura y la salinidad con respecto a la osmolaridad de la hemolinfa de los camarones. Williams (1960) en *Penaeus aztecus*, observó que a medida que los organismos eran transferidos a las bajas temperaturas, la concentración de la hemolinfa se modificaba, indicando esto una pérdida de la habilidad osmorreguladora. Para *P. duorarum* observó que rápidamente ajustó su medio interno en el intervalo de salinidades de 10 a 30 ‰. Bishop *et al.* (1980) reportaron que *P. aztecus* fue hiperosmótico en salinidades

de 10 y 20 ‰ e hiposmótico en 30 ‰, dependiendo de la temperatura y salinidad experimental, la osmolaridad de la hemolinfa se mantuvo entre los 600 a 900 mOsm Kg⁻¹; concluyeron que esta especie reduce su capacidad osmorreguladora en las temperaturas extremas.

Dall (1981) observó en diferentes especies de peneidos el comportamiento de la hemolinfa al ser sometidos a cambios de la salinidad del medio, con *Penaeus merguensis* y *P. esculentus*, mencionó que son buenos osmorreguladores entre los 20 y 40 ‰. En *Metapenaeus bennettiae*, mencionó que es altamente eficiente como osmorregulador en un intervalo de salinidades entre 5 y 50 ‰. Chen y Lin (1998) reportaron que la capacidad osmorreguladora de *P. chinensis* se modificó por las temperaturas a las que fue expuesta esta especie. En *P. monodon* Ferraris et al. (1986) señalaron que es un buen osmorregulador en bajas y altas salinidades, y lo reafirmaron con base en el valor obtenido de la pendiente en la regresión lineal del medio interno contra el medio externo, y mencionaron que los valores de la pendiente cercanos a cero se consideran a los organismos como mejores osmorreguladores y valores cercanos a uno se considera la condición de los organismos como pobres reguladores u osmoconformadores. En todos los casos fue similar la tendencia a regular el medio interno en bajas y altas salinidades.

En este estudio fue evidente que *L. stylirostris* fue un buen osmorregulador en todo el intervalo de salinidades en las temperaturas de aclimatación de 23 y 28 °C, siendo sus pendientes en 0.241 y 0.161 respectivamente, las cuales fueron similares a las reportadas por Castille y Lawrence (1980) en *P. setiferus*; Bishop et al. (1980) en *P. aztecus*; Ferraris et al. (1986) en *P. monodon*; Chen y Lin (1998) en *P. chinensis*. Sin embargo, en los camarones aclimatados en la temperatura de 33 °C y expuestos a las altas salinidades la hemolinfa tendió a hiposmoconformarse ya que el valor de su pendiente fue de 0.350, este

comportamiento fue similar al reportado por Castille y Lawrence (1980) en *P. aztecus*; Dall (1981) en *P. plebejus*; Cawthorne (1983) en *P. monodon*; Clark (1992) en *P. semisulcatus* y Chen y Lin (1998) en *P. chinensis* (12 °C), teniendo una capacidad osmorreguladora baja, siendo sus pendientes de 0.380, 0.361, 0.592, 0.730 y 0.350; obteniendo sus puntos isosmóticos en 26, 30, 32, 29 y 25 ‰ respectivamente (Tabla VIII).

Tabla VIII. Puntos isosmóticos de diferentes especies de crustáceos

Especie (condición de aclimatación)	Pendiente	Punto isosmótico (mmol Kg ⁻¹)	Estadio	Referencia
<i>Penaeus semisulcatus</i> (25-27 °C)	0.730	930	Juveniles	Clark (1992)
<i>Penaeus monodon</i> (28-30 °C)	0.592	790	Juveniles	Cawthorne <i>et al.</i> (1983)
<i>Penaeus plebejus</i> (23-27 °C)	0.361	800	Juveniles	Dall (1981)
<i>Penaeus aztecus</i> (28.4 °C)	0.323	714	Juveniles	Williams (1960)
(18-33 °C)	—	796	Juveniles	Bishop <i>et al.</i> (1980)
(20-30 °C)	—	657 - 771	Juveniles	Hernández y Díaz (1995)
(23 °C)	—	745	Juveniles	Castille y Lawrence (1980)
<i>Penaeus merguensis</i> (23-27 °C)	0.318	771	Juveniles	Dall (1981)
<i>Penaeus esculentus</i> (23-27 °C)	0.301	714	Juveniles	Dall (1981)
<i>Penaeus chinensis</i> (12-30 °C)	0.350-0.229	736-667	Juveniles	Chen y Lin (1998)
	—	480	Juveniles	Chen y Nan (1993)

Tabla VIII. Continuación

Espece (condición de aclimatación)	Pendiente	Punto isomótico (mmol Kg ⁻¹)	Estadio	Referencia
(12-30 °C)	0.261-0.119	664-602	Juveniles	Chen <i>et al.</i> (1995)
<i>Penaeus monodon</i>	0.260	698	Preadultos	Ferraris <i>et al.</i> (1986)
<i>Metapenaeus bennettiae</i>	0.251	657	Juveniles	Dall (1981)
(23-27 °C)				
<i>Penaeus japonicus</i>	—	800	PL5-PL6	Charmantier <i>et al.</i> (1988)
(25 °C)				
<i>Scylla serrata</i>	—	714-857	Juveniles	Chen y Chia (1996)
(16-32 °C)				
<i>Penaeus duorarum</i>	—	768	Juveniles	Castille y Lawrence (1980)
(23 °C)				
(28.4 °C)	0.210	743	Juveniles	Williams (1960)
<i>Penaeus vannamei</i>	—	718	Juveniles	Castille y Lawrence (1980)
(23 °C)				
<i>Penaeus setiferus</i>	—	680	Juveniles	Castille y Lawrence (1980)
(23 °C)				
<i>Penaeus stylirostris</i>	—	699	Juveniles	Castille y Lawrence (1980)
(23 °C)				
			Juveniles	Este estudio
23 °C	0.241	666		
28 °C	0.161	654		
33 °C	0.350	655		

En general, en este estudio el comportamiento de regulación de *L. stylirostris* fue del tipo IV propuesto por Vernberg y Vernberg (1972). Estos autores mencionaron que los organismos expuestos a un intervalo de salinidades son hiper-hiposmorreguladores y apoyando esta conclusión con lo mencionado por Castille y Lawrence (1981) los cuales consideraron al género *Litopenaeus* como un buen regulador.

Los puntos isosmóticos de *L. stylirostris* obtenidos en las temperaturas de aclimatación de 23, 28 y 33 °C y en todo el intervalo de salinidades fueron de 666, 654 y 655 mmol Kg⁻¹, que se asemejan a los reportados por Williams (1960), Castille y Lawrence (1980), Bishop *et al.* (1980), Dall (1981), Ferraris *et al.* (1986) y Hernández y Díaz (1995).

Es posible un mayor desarrollo de los peneidos cuando se hallan en condiciones de isosmotividad o cercano al punto isosmótico, ya que no hacen uso de los procesos activos para mantener el equilibrio del medio interno. Además, el ahorro energético se destinaría al crecimiento sugiriendo que la distribución de los camarones puede estar determinada por el punto isosmótico e iónico, al mantener la condición de isosmotividad de la hemolinfa (Ferraris *et al.*, 1986; Chen y Nan, 1993; Hernández y Díaz, 1995). Por lo que las especies de *Penaeus* spp. están programadas genéticamente para desarrollarse en forma eficiente en medios eurihalinos, pero la habilidad puede reducirse o perderse durante el crecimiento (Dall, 1981).

En este estudio el camarón azul *L. stylirostris* expuesto a las diferentes salinidades experimentales, la tasa de excreción de amonio se relacionó de manera directa con los procesos de osmorregulación, ya que la excreción se incrementó cuando los camarones fueron hiperreguladores y disminuyó cuando fueron hiposmorreguladores. Por lo que Mangum *et al.* (1976) y Pressley *et al.*

(1981) han demostrado que hay una captación activa de Na^+ de los organismos siendo más concentrado el medio interno en medios diluidos y este hecho fue relacionado con un incremento en la excreción de amonio; y al aumentar la salinidad del medio disminuyen los niveles de amonio y Na^+ .

La absorción de Na^+ es requerida en los organismos acuáticos expuestos en medios hiperosmóticos para compensar la pérdida de iones utilizando la bomba de intercambio $\text{Na}^+/\text{NH}_4^+$ incrementando la excreción de amonio para balancear y mantener la concentración osmótica de la hemolinfa en esos medios ahorrando una cantidad considerable de energía (Chen *et al.*, 1995).

En este trabajo se obtuvo que la cantidad de agua en el tejido de *L. stylirostris* tuvo una relación inversa entre la cantidad de agua en el tejido del camarón azul al ser expuesto a las diferentes temperaturas y salinidades experimentales igual a lo reportado por Chen y Lin (1998). La cantidad de agua en *Crangon vulgaris* se incrementó de 68.6 a 75.3 g por cada 100 g⁻¹ de tejido muscular en un intervalo de salinidades de 35 a 8.75 ‰. (Che Mat y Potts, 1985) Los resultados de este estudio fueron que en salinidades bajas hubo un incremento significativo del agua en el tejido de *L. stylirostris*. y fue notoriamente mayor en las salinidades de 10 y 15 ‰ con respecto a la temperatura de 33 °C, éstos resultados se asemejan a los reportados por Chen *et al.* (1995) con *P. chinensis*. ya que esta especie incrementó significativamente la cantidad de agua en el tejido en la salinidad de 10 ‰ cuando se expuso a las temperaturas de 18 y 30 °C.

Chen *et al.* (1995) observaron que en *P. chinensis* la cantidad de agua en el tejido se mantuvo constante en las temperaturas de 12 y 24 °C y en todo el intervalo de salinidades. Chen y Lin (1998) reportaron que la cantidad de agua en el tejido de *P. chinensis* fue inversamente proporcional a los niveles de temperatura y salinidad, pero no obtuvieron diferencias significativas en cuanto al

efecto de cada variable y su interacción.

La importancia que tienen los estudios ecofisiológicos en los organismos acuáticos de interés comercial como el realizado en este trabajo con *Litopenaeus stylirostris* es que permite describir y predecir la condición fisiológica de los camarones expuestos a la combinación de diferentes factores ambientales. Se concluyó que para esta especie se puede optimizar las condiciones de cultivo, utilizando la temperatura de 28 °C como adecuada, ya que en esta temperatura el consumo de oxígeno y la excreción de amonio de los camarones se mantuvieron constantes en todo el intervalo de salinidades. Y referente a la salinidad óptima de cultivo recomendable se obtuvo entre 22-23 ‰, ya que en estas condiciones de isosmoticidad los organismos de igual forma pueden canalizar la mayor parte de la energía obtenida a través del alimento hacia el crecimiento.

LITERATURA CITADA

- Aragón, N. E. A., 2000. Ecología del reclutamiento del camarón azul *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1871) en el alto Golfo de California. Tesis Doctoral. Ecología Marina. CICESE, Ensenada, B. C. 117 pp.
- Armstrong, D. A., 1979. *Nitrogen toxicity to crustacea and aspects of its dynamics in culture systems*. Proceedings of the Second Biennial Crustacean Health Workshop. Texas A & M University 329-360 pp.
- Barber, B. y Blake, N. J., 1985. Substrate catabolism related to reproduction in the body scallop *Argopecten irradians* as determined by O/N and RQ physiological indexes. *Mar. Biol.* 87: 13-18.
- Bishop, M. J., Gosselink, J. G. y Stone, J. H., 1980. Oxygen consumption and hemolymph osmolality of brown shrimp, *Penaeus aztecus*. *Fishery Bulletin* 78: 741-757.
- Brett, J.R. y Groves, D. D., 1979. *Physiological energetics*. En: *Fish Physiology: Bionergetics and Growth*. W.S. Hoar; D.J. Randall y J.R. Brett. (eds.) Academic Press, Inc. New York. III: 279-252.
- Castille, F. L. Jr. y Lawrence, A. L., 1981. The effect of salinity on the osmotic, sodium and chloride concentration in the hemolymph of euryhaline shrimp of the genus *Penaeus*. *Comparative Biochemistry and Physiology* 68A: 75-80.
- Cawthorne, D. F., Beard, T. W., Davenport, J. y Wickins, J. F., 1983. Response of

- juvenile *Penaeus monodon* Fabricius to natural and artificial seawaters of low salinity. *Aquaculture* 32: 165-174.
- Che Mat, C. R. y Potts, W. T., 1985. Intracellular osmotic regulation in *Crangon vulgaris*. *Comparative Biochemistry and Physiology* 82A: 719-724.
- Chen, J. C. y Chia, P. G., 1996. Oxygen uptake and nitrogen excretion of juvenile *Scylla serrata* at different temperature and salinity levels. *Journal of Crustacean Biology* 16(3): 437-442.
- Chen, J. C. y Kou, Y. Z., 1992. Effects of ammonia on growth and molting of *Penaeus japonicus* juveniles. *Aquaculture* 104: 249-260.
- Chen, J. C. y Lai, S. H., 1993. Effects of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia-N excretion of juvenile *Penaeus japonicus* Bate. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 165: 161-170.
- Chen, J. C. y Lin, J. L., 1994. Responses of osmotic and chloride concentrations of *Penaeus chinensis* Osbeck subadults acclimated to different salinity and temperature levels. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 179: 267-278.
- Chen, J. C. y Lin, J. N., 1998. Osmotic concentration and tissue water of *Penaeus chinensis* juveniles reared at different salinity and temperature levels. *Aquaculture* 164: 173-181.
- Chen, J. C. y Nan, F. H., 1993. Changes of oxygen consumption and ammonia-N excretion by *Penaeus chinensis* Osbeck at different temperature and salinity levels. *Journal of Crustacean Biology* 13(3): 706-712.

- Chen, J. C. y Nan, F. H., 1994. Comparisons of oxygen consumption and ammonia-N excretion of five penaeids. *Journal of Crustacean Biology* 14 (2): 289-294.
- Chen, J. C., Chen, C. T. y Cheng, S. Y., 1994. Nitrogen excretion and changes of hemocyanin, protein and free amino acid levels in the hemolymph of *Penaeus monodon* exposed to different concentrations of ambient ammonia-N at different salinity levels. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 110: 85-95.
- Chen, J. C., Lin, M. N., Ting, Y. Y. y Lin, J. N., 1995. Survival haemolymph osmolality and tissue water of *Penaeus chinensis* juveniles acclimated to different salinity and temperature levels. *Comp. Biochem. Physiol.* 110A (3): 253-258.
- Clark, J. V., 1992. Physiological responses of adult *Penaeus semisulcatus* (De Haan) to changes in salinity. *Comp. Biochem. Physiol.* 101A: 117-119.
- Clifford III, H. C. y Brick, R. W., 1983. Nutritional physiology of the freshwater shrimp *Macrobrachium rosenbergii* (De Man)-I. Substrate metabolism in fasting juvenile shrimp. *Comp. Biochem. Physiol.* 74A(3): 561-568.
- Dall, W., 1981. Osmoregulatory ability and juvenile habitat preference in some penaeid prawns. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 54: 55-64.
- Dalla Via, G. J., 1986. Salinity responses of the juvenile penaeid shrimp *Penaeus japonicus*. I. Oxygen consumption and estimation of productivity. *Aquaculture* 55: 297-306.
- Díaz, H. F., 1989. Estudio ecofisiológico del langostino gigante *Macrobrachium*

- rosenbergii*. Tesis Doctoral. Fac. de Ciencias U.N.A.M. México 110 pp.
- Díaz, H. F., Pérez, C. E., Luna, F. J., Tapia, G. A. y Rosas, V. C., 1992. Consumo de oxígeno, excreción de amonio y osmorregulación de juveniles de *Callinectes similis* Williams (Crustacea: Portunidae) expuestos a salinidades fluctuantes. *Ciencias Marinas*. 18(3): 93-104.
- Díaz, H. F. y Bückle, R. L. F., 1993. Efecto de la salinidad sobre el consumo y la excreción de amonio de *Macrobrachium rosenbergii* (Crustacea: Palaemonidae). *Rev. Biol. Trop.* 41: 239-243.
- Díaz, I. E., 1988. *Aspectos de la fisiología de animales acuáticos*. Editorial Pueblo Viejo. La Habana, Cuba 119 pp.
- Dimock, R. V. y Groves, K. H., 1975. Interaction of temperature and salinity on oxygen consumption of the estuarine crab *Panopeus herbstii*. *Mar. Biol.* 33: 301-308.
- Dorgelo, J., 1981. Blood osmoregulation and temperature in crustaceans. *Hydrobiologia* 81: 113-130.
- Espina, S. y Vanegas, C, 1996. Ecofisiología y contaminación, p. 45-68. In: Botello, A. V., Rojas Galaviz, J. L., Benítez, J. A., y Zárata-Lomelí, D., (Eds.). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. EPOMEX Serie Científica 5. Universidad Autónoma de Campeche, México 666 pp.
- Ferraris, R. P., Parado-Esteva, F. E., Ladja, J. M. y De Jesús, E. G., 1986. Effect of salinity on the osmotic, chloride, total protein and calcium

- concentrations in the hemolymph of the prawn *Penaeus monodon* (Fabricius). *Comparative Biochemistry and Physiology* 83A: 701-708.
- Gaudy, R. y Sloane, L., 1981. Effect of salinity on oxygen consumption in postlarvae of the penaeid shrimp *Penaeus monodon* and *P. Stylirostris* without and with acclimation. *Marine Biology* 65: 297-301.
- Gerhardt, H. V., 1980. Nitrogen excretion by the juvenile prawn *Penaeus indicus* Milne Edwards at various temperatures. *S. Afr. J. Sci.* 76: 39-40.
- Haberfield, E. C., Hass, L. y Hamman, C. S., 1975. Early ammonia release by a polychaete *Nereis virens* and a crab *Carcinus maenas* in diluted seawater. *Comp. Biochem. Physiol.* 52A: 501-503.
- Hagerman, L., Søndergaard T., Weile, K., Hoise, D. y Uglow, R. R., 1990. Aspects of blood physiology and ammonia excretion in *Nephrops norvegicus* under hypoxia. *Comparative Biochemical Physiology* 97A(1): 51-55.
- Hernández, R. M. y Díaz, H. F., 1995. Interacción de la temperatura y la salinidad sobre la excreción de amonio y osmorregulación en *Penaeus aztecus* (Crustacea: Penaeidae). *Caribbean Journal of Science* 31(3-4): 284-288.
- Kinne, O., 1967. *Capítulo IV Estuarios*. En: Vernberg y Vernberg, 1972. *Environmental physiology of marine animals*. Springer-Verlag, New York Inc. 346 pp.
- Kulkarni, G. K. y Joshi, P. K., 1980. Some aspects of respiratory metabolism of a Penaeid prawns *Penaeus japonicus* (Crustacea: Decapoda: Penaeidae). *Hidrobiologia* 75: 27-32.

- Kurmaly, K., Yule, A. B. y Jones, D. A., 1989. Effects body size and temperatures on the metabolic rate of *Penaeus monodon*. *Marine Biology* 103: 25-30.
- Kutty, M. N., Murugapoopathy, G. y Krishnan, T. S., 1971. Influence of salinity and temperature on the oxygen consumption in young juveniles of the Indian prawn *Penaeus indicus*. *Mar. Biol.* 11: 125-131.
- Lange, R., 1972. Some recent work on osmotic, ionic and volume regulation in marine animals. *Oceanograph Mar. Biol.* 10: 97-136.
- Lezama, E. y Günther, J., 1992. The routine metabolism of the guapote, *Cichlasoma managuense* (Günther 1869), related to body weight and temperature. *Journal of Fish Biology* 41: 373-380.
- Lockwood, A. P. M., 1962. The osmoregulation of crustacea. *Biol. Rev.* 37: 257-305.
- Mangum, C. P., Silversthorpe, S. V., Harris, J. L., Towle, D. W. y Krall, A. R., 1976. The relationship between blood pH, ammonia excretion and adaptation to low salinity in the blue crab *Callinectes sapidus*. *J. Exp. Zool.* 195: 129-136.
- Mantel, L. y Farmer, L. L., 1983. *Osmotic and ionic regulation*. En: Mantel, L. H. (Ed.), *The Biology of Crustacea*. Vol. 5. International Anatomy and Physiological Regulation. Academic Press, New York 54-161 pp.
- Martínez, C. L. R., 1994. *Camaronicultura: bases técnicas y científicas para el cultivo de camarones peneidos*. AGT Editor, S. A., México 232 pp.
- Martínez-Palacios, C. A., Ross, L. G. y Valenzuela, L. J., 1996. The effects of

- temperature and body weight on the oxygen consumption of *Penaeus vannamei*, Boone, 1931. *J. Aqua. Trop.* 11: 59-65.
- Mayzaud, P. y Conover, E. R., 1988. O:N atomic ration as a tool to describe zooplankton metabolism. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 45: 289-302.
- McFarland, W. N. y Pickens, P. E., 1965. The effects of season, temperature and salinity on standard and active oxygen consumption of the grass shrimp, *Palaemonetes vulgaris* (Say). *Canadian Journal of Zoology* 43: 571-585.
- Péqueux, A., 1995. Osmotic regulation in crustaceans. *Journal of Crustacean Biology* 15: 1-60.
- Pérez-Farfante, I. y Kensley, B., 1997. *Penaeoid and Sergestoid and prawns of the world. Keys and diagnoses for the families and genera.* Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle. Tome 175 Zoologie 233 pp.
- Pressley, T. A., Graves, J. S. y Krall, A. R., 1981. Amiloride sensitive ammonium and sodium transport in the blue crab. *Am. J. Physiol.* 241: 370-378.
- Prosser, C. L., 1993. *Environmental and metabolic animal physiology.* 4 ed. Prosser (editor), New York 578 pp.
- Re-Araujo, A. D., Díaz, H. F., Sierra, U. E., Aguilar, M. y Valdéz, M. V., 1998. Efecto de la salinidad sobre el comportamiento termorregulador en juveniles de *Penaeus stylirostris*, Stimpson. *II Simposium Internacional de Acuacultura. Mazatlán, Sinaloa, México.*
- Regnault, M., 1984. Salinity induced changes in ammonia excretion rate of the

- shrimp *Crangon crangon* over a winter tidal cycle. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 20: 119-125.
- Regnault, M., 1987. Nitrogen excretion in marine and freshwater crustacea. *Biol. Rev.* 62: 1-24.
- Rodier, J., 1978. *Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, y aguas del mar.* Ed. Omega. Barcelona 138-140 pp.
- Rosas, C., Sánchez, A., Díaz-Iglesia, E., Brito, R., Martínez, E. y Soto, L. A., 1997. Critical dissolved oxygen level to *Penaeus setiferus* and *Penaeus schmitti* postlarvae (P₁₀₋₁₈) exposed to salinity changes. *Aquaculture* 152: 259-272.
- Scelzo, M. y Zúñiga, O., 1987. Consumo de oxígeno en el camarón *Penaeus brasiliensis* Latreille (Decapoda: Penaeidae) en relación a la salinidad y la temperatura. Memoria: Sociedad de Ciencias Naturales La Salle, Contribución No. 159. Tomo XLVII (127-128): 201-216.
- Schmidt-Nielsen, K., 1979. *Animal Physiology: Adaptation and environment.* Cambridge: Cambridge University Press 560 pp.
- SEMARNAP, 1998. *Anuario estadístico de pesca 1998.* Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México, D. F. 244 pp.
- Stern, S., Borut, A. y Cohen, D., 1984. The effect of salinity and ion composition on oxygen consumption and nitrogen excretion of *Macrobrachium rosenbergii*. *Comparative Biochemical Physiology* 79A: 271-274.
- Taylor, A. C., 1977. The respiratory responses of *Carcinus maenas* (L.) to

changes in environmental salinity. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 29: 197-210.

Tukey, J. W., 1977. *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley. Pub. Co., Massachusetts 688 pp.

Vanegas, C., Pérez, G. y Merino, E., 1988. Efecto de las fluctuaciones de la salinidad sobre el consumo de oxígeno de *Callinectes similis* Williams. *Revista de Investigaciones Marinas* 9: 67-77.

Vernberg, W. B. y Vernberg, F. J., 1972. *Environmental physiology of marine animals*. Springer-Verlag, New York Inc. 346 pp.

Villarreal, H. y Ocampo, L., 1993. Effect to size and temperature on the oxygen consumption of the brown shrimp *Penaeus californiensis*. *Comp. Biochem. Physiol.* 106A: 97-101.

Villarreal, H. y Rivera, J. A., 1993. Effect of temperature and salinity on the oxygen consumption of laboratory produced *Penaeus californiensis* postlarvae. *Comparative Biochemical Physiology* 106A(1): 103-107.

Vondracek, B., Cech, J. y Longanecker, D., 1982. Effect of cycling and constant temperatures on the respiratory metabolism of the tahoe sucker, *Catostomus tahoensis* (Pisces: Catostomidae). *Comp. Biochem. Physiol.* 73A(1): 11-14.

Williams, A. B., 1960. The influence of temperature on osmotic regulation in two species of estuarine shrimps (*Penaeus*). *Biol. Bull.* 119: 560-571.

Yagi, H., Ceccaldi, H. J. y Gaudy, R., 1990. Combined influence of temperature

and salinity on oxygen consumption of the larvae of the pink shrimp *Palaemon serratus*, Crustacea, Decapoda, Palaemonidae. *Aquaculture* 86: 77-92.

Zar, J. H., 1974. *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall, New Jersey 620 pp.

Zein-Eldin, Z. P. y Aldrich, D. V., 1965. Growth and survival of post-larval *Penaeus aztecus* under controller conditions of temperature and salinity. *Biol. Bull.* 129: 199-216.

