

Energía Metabolizable y Eficiencia Neta de Crecimiento Bajo el Efecto de Variaciones Medioambientales en el Camarón

Lucía Ocampo Victoria

CIBNOR,S.C. Apdo. Postal 128, La Paz, B.C.S., E-mail:locampo@cibnor.mx

Resumen

Se evaluó el efecto de dos niveles de oxígeno (DOI= >5 mg/L; DOL= <3 mg/L) y tres temperaturas (19, 23, y 27 °C) en el crecimiento y el metabolismo respiratorio de juveniles de camarón café, *Penaeus californiensis*. El crecimiento fue significativamente menor a DOL con tasas de crecimiento de 0.002, 0.012, y 0.024 (g/día) de baja a alta temperatura y 0.004, 0.0017, y 0.026 (g/día) para las 3 temperaturas a DOI. La supervivencia varió de 68 a 85% y no fue afectada por el nivel de oxígeno ($P>0.05$). El metabolismo post-prandial fue 2.1, 1.6 y 1.7 veces el del metabolismo rutinario de baja a alta temperatura. Se encontró un pico en el consumo de oxígeno 2 horas después del consumo del alimento a 19 y 27 °C, mientras que a 23 °C el pico se observó a la hora. Los valores del Q10 para cambios de temperatura en el intervalo 23-27 °C indican compensación. Se construyó un presupuesto a 24 h de la energía metabolizable bajo estas condiciones. La energía metabolizable varió de 273 J/día a la temperatura más alta a 82 J/día a la más baja. La eficiencia neta de crecimiento varió de 40% a la temperatura más alta a 5% a la más baja. Basado en la información presentada, los juveniles de *P. californiensis* parecen ser capaces de adaptarse a cambios en la temperatura y el nivel de oxígeno por mecanismos desarrollados y especializados a nivel bioquímico, metabólico y funcional.

Abstract

A study of the effect of a Limited Oxygen Availability treatment (LOA = under 3 mg/L), and an Unlimited Oxygen Availability treatment (UOA = over 5 mg/L) at three temperatures (19, 23, and 27 °C), on the growth and the respiratory metabolism of brown shrimp, *Penaeus californiensis*, juveniles fed a commercial pelleted diet (RANGEN 35% crude protein) was made. Growth at LOA level was significantly less than at UOA, with growth rates (g/day) of 0.002, 0.012, and 0.024 from the lowest to the highest temperature and 0.004, 0.0017, and 0.026 (g/day) for the three temperatures at UOA level. Survival varied from 68 to 85% and was not affected by the dissolved-oxygen level ($P>0.05$). Post-prandial metabolism were 2.1, 1.6, and 1.7 times that of unfed shrimp from the lowest to highest temperature. A peak in the oxygen consumption was found two hours after feeding at 19 and 27 °C, whereas at 23 °C the maximum metabolic rate was found after 1 hour. Q10 values for temperature changes between 23 and 27 °C indicate compensation. A 24-h metabolizable energy budget was constructed. Metabolizable energy varied from 273 J/day at the highest temperature to 82 J/day at the lowest temperature. Energy net growth varied from 40% at the highest temperature to 5% at the lowest temperature.

Ocampo, V. L. 2000. Energía metabolizable y eficiencia neta de crecimiento bajo el efecto de variaciones medioambientales en el camarón. pp 187-201 En: Civera-Cerecedo, R., Pérez-Estrada, C.J., Ricque-Marie, D. y Cruz-Suárez, L.E. (Eds.) Avances en Nutrición Acuícola IV. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Noviembre 15-18, 1998. La Paz, B.C.S., México.

Based on the information presented, *P. californiensis* juveniles seem capable of well-developed and specialized biochemical, behavioral, and metabolic adaptation mechanisms to withstand temperature and dissolved-oxygen changes.

Introducción

El cultivo de camarón enfrenta una serie de problemas entre los que se encuentran el manejo inadecuado de los sistemas y la falta de conocimiento de la fisiología y la biología general de la especie a cultivar. Estos problemas pueden conducir a bajas tasas de crecimiento y supervivencia, lo cual traería como resultado, menores producciones y por ende menores ingresos.

La supervivencia y el buen desarrollo del camarón dependen del almacenamiento, la reorganización, y el uso de la energía. La energía derivada del alimento consumido (C) es utilizada generalmente para el crecimiento (P) y el metabolismo respiratorio (R), mientras que otra porción se pierde durante la eliminación de los desechos nitrogenados (U) y de las heces fecales (F) (Blaxter, 1989) (Figura 1).

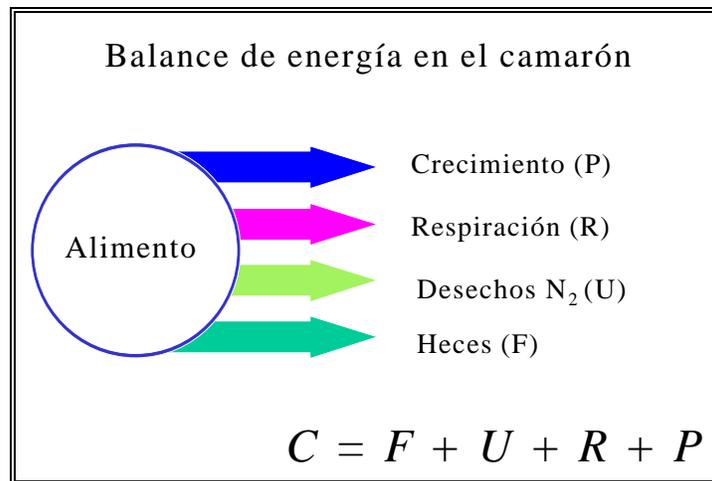


Figura 1. Balance de las pérdidas y ganancias de la energía en el camarón.

En acuicultura, es importante identificar las condiciones nutricionales y medioambientales que maximicen la utilización de la energía del organismo a cultivar. La energía metabolizable (comúnmente referida como energía asimilada), es una medida de la energía que dispone el organismo para mantener su integridad, la actividad muscular, y poder crecer y reproducirse. Para un camarón en crecimiento la energía metabolizable (E_m) se define como:

$$E_m = P + R = C - F$$

Cuando el camarón no se alimenta, la energía proviene del catabolismo de los componentes tisulares; mientras que cuando por varios días el camarón no crece, se alcanza un estado de equilibrio denominado de "mantenimiento". De tal manera, el incremento de una unidad en la toma de Em da como resultado una proporción de energía, k , que es retenida en el cuerpo y una proporción, $1-k$, que es perdida durante el metabolismo.

Sin embargo, durante un día las pérdidas y las ganancias en energía pueden variar significativamente. Los ritmos circadianos y las variables medioambientales afectan el metabolismo, el consumo del alimento, y la actividad del camarón y por ende la eficiencia neta de crecimiento.

Diversos métodos y aproximaciones han sido desarrollados para estudiar el balance entre la cantidad de energía adquirida y transformada por el camarón y han servido como marco para entender las relaciones entre las tasas de alimentación y el crecimiento bajo diversas variables medioambientales.

La temperatura del agua y el oxígeno disuelto son dos variables muy importantes. En un estanque de cultivo de camarón, la concentración de oxígeno es generalmente alta durante el día debido a la fotosíntesis y baja durante la noche, alcanzando el mínimo cerca del amanecer, debido a la predominancia de la respiración (Boyd, 1979). Esta dinámica, el suministro inadecuado del agua, el alto costo de los sistemas de aireación y del mantenimiento, pueden limitar el nivel de oxígeno que debe ser mantenido en un estanque. Por otro lado, el camarón es poiquilotermo y, en general, requiere temperaturas tropicales para crecer adecuadamente. La temperatura determina la tasa y el modo de las reacciones bioquímicas y por lo tanto de los procesos biológicos en el camarón y frecuentemente impone el límite para mantener condiciones adecuadas de cultivo. De tal manera, aquel camarón que demuestre independencia del nivel de oxígeno presente en el medio sobrevivirá períodos largos y crecerá a las tasas delimitadas por su tolerancia térmica, su estado fisiológico y/o nutricional.

El presente trabajo ofrece un análisis del flujo de la energía metabolizable y la eficiencia neta de crecimiento del camarón café, *Penaeus californiensis*, por efecto de variaciones en la temperatura y en el nivel de oxígeno. Información que relaciona una combinación de 3 temperaturas y 2 niveles de oxígeno disuelto en el crecimiento y el metabolismo respiratorio del camarón fue evaluada. La información generada contribuirá a mejorar el conocimiento de la fisiología de la especie, en el manejo adecuado del sistema de cultivo y uso eficaz de los recursos.

Metodología

Se seleccionaron al azar juveniles de camarón café *P. californiensis* provenientes del desove de hembras maduras del Laboratorio Experimental de Cultivo de Camarón, CIBNOR. Los organismos fueron colocados en unidades experimentales de 2 000 L donde permanecieron en aclimatación a las diferentes temperaturas y la dieta experimental por una semana. Diario se realizó un recambio de agua del 20%, se retiró el alimento no consumido y las heces fecales y se mantuvo la saturación de oxígeno superior al 80%.

Se establecieron dos tratamientos: uno donde la disponibilidad del oxígeno estaba ilimitado (DOI) en el que la concentración de oxígeno se mantuvo > 5 mg/L (media = 5.8 ± 0.2); y un tratamiento donde la disponibilidad del oxígeno estaba limitada (DOL) donde se mantuvo la concentración < 3 mg/L (media = 2.6 ± 0.2) y se seleccionaron tres temperaturas experimentales (19, 23 y 27 °C). Estas temperaturas y niveles de oxígeno se encuentran normalmente

durante un ciclo de cultivo en el noroeste de México (Porchas et al., 1995; Martínez et al., 1998). Para el tratamiento de DOI se mantuvieron los niveles con aireación constante a través de piedras de aireación, mientras que para el tratamiento DOL la aireación se limitó con válvulas de plástico. El nivel de oxígeno se registró cada 12 h con un electrodo de oxígeno y los ajustes, cuando eran requeridos, se realizaron manualmente con ayuda de burbujas de nitrógeno. La temperatura del agua en las diferentes unidades experimentales se mantuvo con calentadores de 2 000 y 250 w, y un enfriador de agua, y se colocaron en un cuarto con aire acondicionado. El agua de mar que se utilizó fue filtrada (5 micras) y la salinidad se mantuvo constante a 37 ppmil. En particular para las pruebas de metabolismo respiratorio el agua de mar fue tratada por 24 h con cloro comercial y neutralizada con tiosulfato de sodio. Se seleccionó una dieta comercial peletizado para camarón (RANGEN) con 35% proteína cruda y 2.5% de calamar que se mantuvo a lo largo de los diferentes experimentos para evitar un efecto nutricional (Apéndice). Los camarones fueron alimentados *ad libitum* dos veces al día. No se determinó el estadio de muda de los camarones, excepto durante las pruebas de metabolismo respiratorio en las que se utilizaron camarones en intermuda. Todos los experimentos se realizaron aproximadamente a la misma hora para evitar variaciones debido al ritmo biológico.

Crecimiento (P)

Para determinar el efecto de la temperatura y el oxígeno disuelto en el crecimiento se realizó un experimento en un sistema de tambos plásticos de 200 L en el que se colocaron 20 camarones/tambo/triplicado. Se realizaron mediciones individuales del incremento en peso cada 10 días por un total de 50 días. Al final del experimento se determinó la composición proximal (% proteína, lípidos y carbohidratos) de los camarones para cada tratamiento por técnicas estándares (AOAC, 1984). La composición proximal del alimento se determinó de manera similar y el contenido energético del alimento y de los camarones se determinó en una bomba de calorimetría adiabática. El porcentaje de agua fue establecido por diferencia en peso después de haber liofilizado las muestras. Los resultados obtenidos fueron transformados a valores de energía utilizando la tasa específica de crecimiento y el contenido energético de los camarones para cada tratamiento.

Para el análisis estadístico se utilizaron pruebas *t* de independencia para definir diferencias entre réplicas, transformación del arcoseno para el análisis de supervivencia, y regresiones lineales para la pendiente de crecimiento. Los datos fueron analizados por ANOVA de dos vías y la prueba de Duncan para localizar las diferencias con ayuda del programa de computadora STATISTICA/ WINDOWS.

Metabolismo respiratorio (R)

Para evaluar el efecto de la temperatura en el metabolismo respiratorio se seleccionaron camarones en intermuda después de haber permanecido en inanición por 24 h y se colocaron en un sistema de 20 respirómetros similar al descrito por Villarreal (1989). Dicho sistema permite registrar el consumo de oxígeno de los camarones en cada respirómetro cuando permanece cerrado el circuito, mientras que cuando éste es abierto el agua es renovada en su totalidad. Los camarones permanecieron en el respirómetro por un periodo de aclimatación al respirómetro de 2 h con la finalidad de minimizar el estrés debido al manejo de los organismos. Evaluaciones individuales del metabolismo respiratorio de camarones en intermuda con 24 h de ayuno (Rrutina) y camarones alimentados *ad libitum* por 1 h se

realizaron cada hora durante 5 h (Rpost-prandial). Un blanco se utilizó para estimar el consumo de oxígeno debido a microorganismos y al alimento. Al final del experimento los camarones fueron pesados y los valores respiratorios se convirtieron en valores de energía utilizando el coeficiente oxicalorífico de 20 kJ/mgO₂ consumido, propuesto por Lucas (1993). Por otro lado, se definió el punto crítico de dependencia en oxígeno como el punto de cambio durante condiciones de normoxia y durante condiciones de hipoxia (Villarreal, 1989).

Resultados y Discusiones

Efecto de la temperatura y del oxígeno disuelto en el crecimiento

Una revisión bibliográfica indicó que existe información limitada sobre el crecimiento del camarón en función del oxígeno (vgr. Rouse, 1981, Llobrera, 1983; Seidman y Lawrence, 1985; Martínez, 1996). Ésto es sorprendente considerando:

-La baja solubilidad del oxígeno en el agua. La disponibilidad de oxígeno en los estanques de cultivo disminuye con incrementos en la temperatura, al mismo tiempo el metabolismo del camarón aumenta, y como consecuencia estrés por hipoxia puede presentarse.

-Que el oxígeno disuelto es la variable limitante más importante en el cultivo intensivo del camarón, y que presenta una dinámica muy compleja en los estanques de cultivo.

Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en el incremento en peso y la tasa de crecimiento, sin encontrarse interacción entre el oxígeno y la temperatura ($P > 0.05$).

Tabla 1. Tiempo necesario para el registro de la primera heces fecal, tasa de digestión, tasa de crecimiento y crecimiento de juveniles de camarón café, *P. californiensis*, bajo el efecto de tres temperaturas y dos niveles de oxígeno.

Tratamiento	Registro de la primera heces (min)	Tasa de producción de heces (g/g camarón/h)	Tasa de crecimiento ($\pm s^*$) (mg/día)	Crecimiento (%)
27 °C DOI	25-35	0.03	26 (1.0)	3 480
23 °C DOI	30-40	0.01	17 (0.3)	2 332
19 °C DOI	45-70	0.01	4 (0.6)	546
27 °C DOL	25-35	0.03	23 (0.6)	2 953
23 °C DOL	30-40	0.01	12 (0.3)	1 540
19 °C DOL	45-70	0.005	2 (0.5)	241

La tasa de crecimiento tan baja obtenida a 19 °C parece ser el resultado de diferentes acciones combinadas en donde la tasa metabólica, la tasa de ingestión y la actividad en general del camarón disminuyen. A 19 °C los camarones parecían aletargados, mientras que a 27 °C generalmente estaban activos. El tiempo necesario para registrar la primera heces fecales a 19 °C fue mayor que a las otras temperaturas, indicando que se requería mayor tiempo para digerir el alimento. Todo estas acciones parecen tener un efecto directo en la energía disponible y puede ser el motivo por el que el camarón no creció a esta temperatura.

Se observó una relación directa entre la tasa de crecimiento y la temperatura. A la temperatura más alta, el peso promedio final fue 35 veces el peso inicial, mientras que a la temperatura más baja, el peso promedio final fue solamente 5 veces el peso inicial (Figura 1).

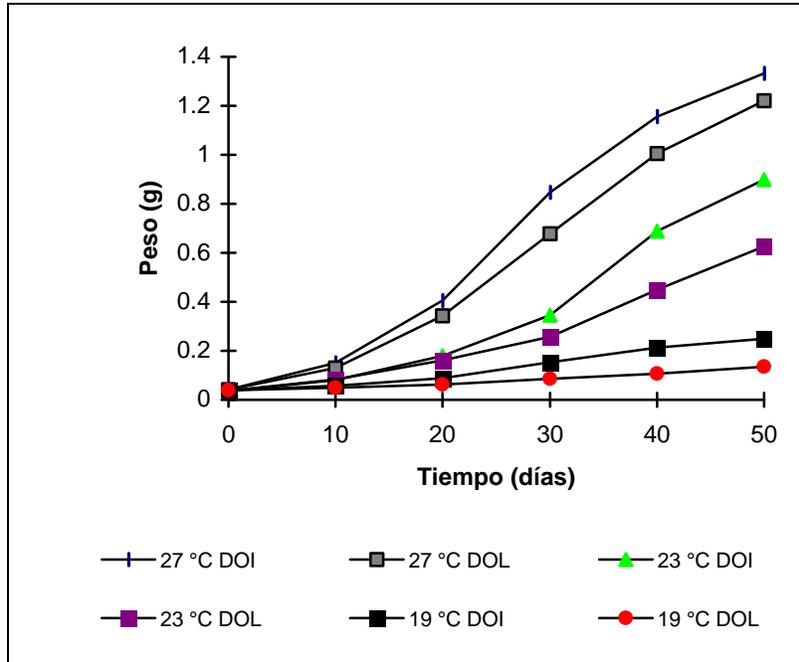


Figura 2. Incremento del peso durante 50 días de cultivo de juveniles de camarón café, *P. californiensis*, bajo el efecto de tres temperaturas y dos niveles de oxígeno.

En el presente trabajo, la tasa de crecimiento disminuyó de 11% a 141% cuando se compara el efecto de oxígeno para cada temperatura. El hecho que la tasa de crecimiento a 27 °C disminuyó solamente 11% podría indicar que el efecto limitante para el crecimiento a esta temperatura es aparente. De tal manera, el nivel crítico de oxígeno para crecimiento podría encontrarse alrededor de 2.7 mg/L a esta temperatura. Es muy probable que por debajo de 2 mg/L la pérdida en la capacidad de crecimiento sería mayor. Seidman y Lawrence (1985) reportan niveles críticos de crecimiento para postlarvas de *P. vannamei* de 1.91 mg/L y de 2.22 mg/L para *P. monodon*, mientras que Llobrera (1983) señala un nivel crítico de alrededor 2.5 mg/L para *Machrobrachium rosenbergii*. Los resultados obtenidos en el presente trabajo no son fáciles de comparar debido a la amplia variación en las técnicas utilizadas, en las variables controladas, en la naturaleza de la especie, y la densidad de los organismos en las cámaras experimentales. Asimismo, otras variables de la calidad del agua (por ejemplo el nivel de amoníaco, la salinidad y el pH) podrían influir en la respuesta de crecimiento de los camarones. Por ejemplo Allan et al. (1990) encontraron que un nivel de 2.1 mg/L aumentó de manera significativa la toxicidad del amonio en *P. monodon*. Martínez (1996) por su parte, reporta una interacción significativa entre la salinidad y el pH en la tolerancia a bajas concentraciones de oxígeno para postlarvas y juveniles de *P. setiferus*.

La supervivencia es uno de los indicadores biológicos más empleados. Sin embargo, factores tales como el estrés provocado por la manipulación de los camarones o la calidad del medioambiente en el que se encuentran los camarones pueden influenciar de manera significativa los resultados que se obtienen. Cabe señalar que los camarones que están por mudar poseen una mayor demanda en oxígeno y muy probablemente una capacidad de supervivencia menor.

En el presente trabajo, la supervivencia varió de 68 a 85% y no se afectó por los tratamientos ($P>0.05$). Una noche antes de la biometría, los niveles de oxígeno para DOL fueron incrementados paulatinamente con la finalidad de minimizar el efecto debido a la manipulación de los organismos. Al término de la biometría las condiciones experimentales de DOL fueron alcanzadas paulatinamente en un tiempo aproximado de 12 h. Ésto puede haber influenciado los resultados y podría ser la razón por la cual la supervivencia no varió de manera significativa ($P>0.05$). Sin embargo, cabe señalar que los menores porcentajes de supervivencia se obtuvieron a la temperatura más baja indicando el efecto negativo de bajas temperaturas en el camarón.

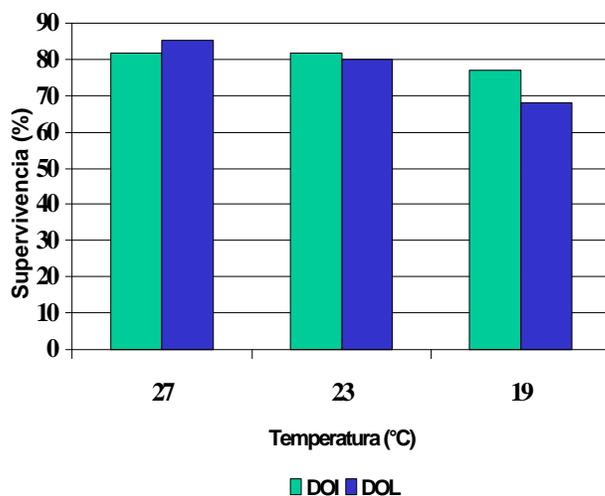


Figura 3. Supervivencia en juveniles de camarón café, *P. californiensis*, bajo el efecto de tres temperaturas y dos niveles de oxígeno.

El porcentaje de agua de los camarones varió de 78 a 88%. Los lípidos variaron de 2.1% a la temperatura más baja, a 1.23% a la temperatura más alta, mientras que las proteínas variaron de 12.5% a la temperatura más baja a 15.05% a la temperatura más alta (Tabla 2).

Tabla 2. Composición proximal, contenido de agua y energía en juveniles de camarón café, *P. californiensis*, a tres temperaturas y dos niveles de oxígeno.

Tratamiento	Agua (%)	Proteínas (\pm S*) (%)	Lípidos (\pm s*) (%)	Energía (\pm s*) (%)
27 °C DOI	78.8	15.1 \pm 0.4a	1.2 \pm 0.8a	20.18
23 °C DOI	81.5	11.3 \pm 1.1b	1.6 \pm 0.2ab	17.83
19 °C DOI	79.2	12.5 \pm 0.2b	2.1 \pm 0.9bc	17.24
27 °C DOL	78.1	15.9 \pm 1.0a	2.0 \pm 0.8bc	21.23
23 °C DOL	86.3	8.4 \pm 0.7b	1.3 \pm 0.2bc	17.90
19 °C DOL	88.1	13.8 \pm 0.1b	#	20.22
Referencia+	76.3	15.7 \pm 0.2	1.3 \pm 0.5	#

+ Organismos antes de ser sometidos a los tratamientos experimentales

No se determinó

* desviación estándar

Efecto de la temperatura en el Metabolismo Respiratorio de *P. californiensis*

En contraste a la limitada información publicada en relación al crecimiento del camarón en función de niveles de oxígeno, existe una gran cantidad de estudios que relacionan tasas respiratorias o valores de LC50 con la capacidad de adaptación al nivel de oxígeno o estés por hipoxia en diferentes grupos de crustáceos. Frecuentemente, se realizan mediciones continuas del consumo de oxígeno hasta aquel nivel en el que se presenta la muerte del organismo como un estimador del nivel letal de oxígeno (Egusa, 1961; Mackay, 1974; Liao y Huang, 1975; Morrissy et al., 1984; Martínez, 1996). Las estrategias y la capacidad de adaptación del camarón pueden depender de la complejidad de su medioambiente y la respuesta adaptativa dependerá de la velocidad y del tiempo en que variables tales como la temperatura y el oxígeno fluctúa.

En el camarón, la tasa respiratoria está afectada por variables ambientes como salinidad, oxígeno disuelto, temperatura, intensidad de la luz (Bridges y Brand, 1980), y por variables endógenas como edad, estado nutricional, sexo, actividad, estadio de muda, ritmo biológico (Wolvekamp y Waterman, 1960). Diversos autores indican que variaciones en la temperatura afectan de manera directa la tasa respiratoria de diversas especies de camarón (Newell, 1969; Nelson et al., 1977; Armitage y Wall, 1982; Dall y Smith, 1985; Dalla-Via, 1987; Scelzo y Zuñiga, 1987; Kurmaly et al., 1989; Zanders y Rodríguez, 1992; Villarreal y Ocampo, 1993; Villarreal y Rivera, 1993).

En este trabajo, la tasa respiratoria de rutina más alta (0.43 mg/g/h) se presentó a 27 °C, y no fue significativamente diferente a la de 23°C (0.35 mg/g/h) ($P>0.05$). La tasa de rutina más baja (0.19 mg/g/h) se registró a 19 °C y disminuyó aproximadamente 55% con respecto a 27 °C (Tabla 3). Villarreal y Ocampo (1993) indican que *P. californiensis* es capaz de ajustar su tasa metabólica rutinaria ante cambios de temperatura en el intervalo de 19 a 27 °C. Resultados similares fueron encontrados en el presente trabajo. Por otro lado, es posible considerar que los camarones a 19 °C pudieran encontrarse en un estado de "freno-metabólico", como estrategia de ajuste a bajas temperaturas (bajas temperaturas reducen la actividad en general), en la que los camarones almacenan lípidos como sustrato de energía,

y reducen el costo de otras actividades como la búsqueda e ingestión del alimento, el movimiento y la muda previamente mencionadas.

Tabla 3. *Metabolismo respiratorio de rutina y post-prandial durante un día en juveniles de camarón café, P. californiensis, a tres temperaturas.*

Temperatura (° C)	Punto Crítico de dependencia en oxígeno ($\pm s^*$)(mg/L)	Rrutina ($\pm s^*$) (mg/g/h)	Rpost-prandial ($\pm s^*$) (mg/g/h)
27	1.3 (0.06)	0.4279 (0.09)	0.7134 (0.14)
23	1.1 (0.06)	0.3491 (0.07)	0.5536 (0.08)
19	1.2 (0.1)	0.1915 (0.07)	0.4030 (0.06)

* desviación estándar

Los camarones en general mostraron una tendencia a incrementar su tasa respiratoria entre la primera y la segunda hora después de alimentarse hasta alcanzar un pico para posteriormente disminuir. A 23 °C la máxima tasa respiratoria se sostuvo alrededor de 2 horas. A 27 °C se alcanzó la tasa rutinaria después de 5 h mientras que a 23 y 19 °C ésta no se alcanzó (Figura 4)

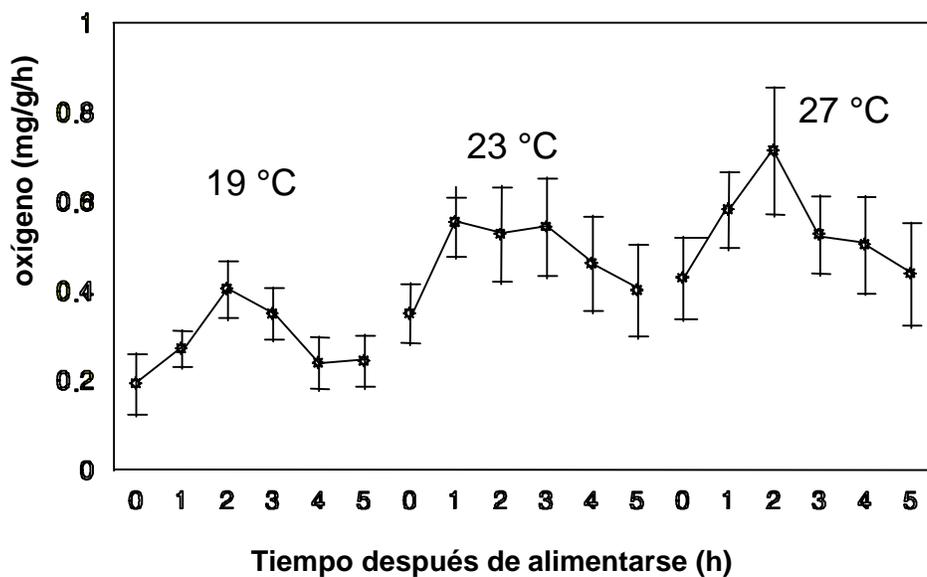


Figura 4. *Metabolismo respiratorio de rutina y post-prandial a tres temperaturas en juveniles de camarón café, P. californiensis.*

DuPreez et al. (1992) reportan 2 picos en el consumo de oxígeno, de *P. monodon* a los 30 minutos y después de 6 horas de la ingestión de alimento. Estos autores señalan que la magnitud y la duración de los picos pueden estar influenciados por la tasa de digestión, la temperatura y la actividad de los camarones. Sin embargo, la gran variación que reportan puede ser debida a otras variables como diferencias individuales en el consumo de alimento y una posible sobrestimación de la energía consumida. En el presente trabajo, el pico de consumo de oxígeno se distinguió después de dos horas a 19 °C y 27 °C, mientras que a 23 °C no se presentó un pico de claramente definido, sino un incremento en el consumo de oxígeno se mantuvo por aproximadamente 3 horas. Es posible que la cantidad de alimento consumido y la tasa de digestión sean los responsables de esta respuesta a 23 °C. Sin embargo, también pudiera indicar una mayor capacidad de ahorro de energía.

Rosas et al. (1996) reportaron que la máxima tasa metabólica para camarones (*P. schmitti*) alimentados fue 3.6 superior a la de los camarones en ayuno. En el presente trabajo, la máxima tasa respiratoria post-prandial (0.71 mg/g/h) se presentó a 27 °C y aumentó 67%, mientras que a 23 °C aumentó 59%, y a 19 °C, aumentó 110% (Tabla 3). El tiempo necesario para alcanzar el pico respiratorio fue de 2 h a 19 y 27 °C, mientras a 23 °C fue de 1 h.

Los valores de *R* variaron de 4.08 a 2.92 J y al considerar el tiempo necesario para alcanzar el pico energético, el valor más bajo se encontró a 23 °C. A la temperatura más alta se perdió mayor cantidad de energía, mientras que a 23 °C se perdió menor energía durante un día.

El Q10 calculado para cambios de temperatura en el intervalo 23-27 °C indica compensación del camarón por lo que es posible suponer que un mecanismo homeostático pueda operar a 23 °C y esté relacionado con la temperatura óptima de cultivo para esta especie, mientras que para Q10_{19-23,19-27} indicó sobrecompensación (Tabla 4).

Tabla 4. Coeficiente térmico, Q10, para cambios de temperatura en el intervalo 19-27 °C en juveniles de camarón café, *P. californiensis*.

Tiempo (h)	Q10 19-23	Q10 19-27	Q10 23-27
0	4.5	2.7	1.7
1	6.0	2.6	1.1
2	2.0	2.0	2.1
3	3.0	1.7	0.9
4	5.2	2.5	1.2
5	3.5	2.1	1.3

Efecto de la temperatura y del oxígeno disuelto en el balance de la Energía Metabolizable

En el presente trabajo, la dieta, la temperatura y el nivel de oxígeno se mantuvieron a lo largo de los diferentes experimentos para un número similar de camarones. La eficiencia para crecer varió de 40% a la temperatura más alta a 5% a la temperatura más baja con DOL.

El balance de la energía metabolizable a 24 h para los diferentes tratamientos se basó en que los camarones se alimentaron 2 veces al día con una dieta con contenido de energía de 19.25 kJ/g (peso seco).

La eficiencia para crecer (*E_c*) se calculó como:

$$E_c = \frac{P}{P+R} (100)$$

La energía metabolizable varió de 273 J/día a la temperatura más alta a 93 J/día a la temperatura más baja. La eficiencia para la retención varió de 40% a la temperatura más alta a 16% a la temperatura más baja (Tabla 5).

Tabla 5. Flujo de la energía metabolizable y la eficiencia neta de crecimiento en juveniles de camarón café, *P. californiensis*, bajo el efecto de tres temperaturas y dos niveles de oxígeno alimentados con RANGEN (35% proteína cruda) durante un día.

Tratamiento	Rrutina (J/día)	Rica (J/día)	R (J/día)	P (J/día)	Em (J/día)	Ec (%)
27 °C DOI	146.86	16.33	163.19	110.98	274.17	40.48
23 °C DOI	119.81	5.85	125.66	57	182.66	31.2
19 °C DOI	65.72	12.1	77.82	15.31	93.13	16.44
27 °C DOL	146.86	16.33	163.19	109.9	273.09	40.24
23 °C DOL	119.81	5.85	125.66	28.8	154.46	18.64
19 °C DOL	65.72	12.1	77.82	4.27	82.08	5.2

Logan & Epifanio (1978) construyeron un balance de energía para postlarvas y juveniles de *Homarus americanus* y determinaron la cantidad mínima de proteína necesaria para el crecimiento de la especie. De manera similar, Rosas et al. (1993) estimaron el requerimiento para el crecimiento de *Callinectes rathbunae* en jaulas flotantes. Zuñiga (1983) estableció el presupuesto para *Penaeus brasiliensis* alimentando con dietas artificiales y naturales y señalan que el 85% de la energía metabolizable es invertida en respiración. La eficiencia neta de crecimiento varió de 7 a 22% cuando se alimentaron en base a Artemia y de 5 a 12% con la dieta peletizada. Villarreal (1991) construyó un balance parcial para *Cherax tenuimanus* alimentado con dietas de 17 a 48% proteína cruda. En este caso, el langostino utilizó más del 57% de la energía consumida para crecer. De manera similar, Barón-Sevilla et al. (1994) evaluaron el balance parcial en *Procambarus clarkii* alimentado con dietas isocalóricas de 20 a 35% proteína y señalan una eficiencia para el crecimiento de 75 a 85%.

Existe poca información relacionada con el balance de energía para camarones, la gran mayoría de éstos no incluye la fase larval, el costo asociado con la muda, o los posibles errores ocasionados por el estrés del organismo. Futuras investigaciones que incorporen evaluaciones del ritmo cardíaco frente a cambios medioambientales contribuirán en la definición de las condiciones "óptimas" de cultivo y proveerán el marco de referencia para comprender mejor el metabolismo y la actividad de los camarones.

Conclusiones

La tendencia general encontrada indica que la temperatura es un factor directo que actúa vía catabolismo y controla el anabolismo y la actividad (movimiento) en juveniles de *P. californiensis*. Existen dos niveles limitantes de oxígeno: un nivel que marca los límites para la retención (energía fisiológicamente útil para crecer) y otro nivel que delimita la capacidad fisiológica de la especie. Sin embargo, el oxígeno disuelto pare ser un factor limitante de menor importancia en los juveniles de camarón café, *P. californiensis* ya que los resultados demuestran una posible capacidad adaptativa. La temperatura de 19 °C limita a los camarones en el mantenimiento de su balance en energía probablemente disminuyendo el apetito y el movimiento. De tal manera, el nivel óptimo después del cual la retención (crecimiento) y el apetito disminuyen debe ser evaluado en *P. californiensis*. Por otro lado, la

temperatura de 23 °C parece ser la temperatura óptima para el desarrollo adecuado de la especie en este estadio particular de desarrollo. Los resultados obtenidos en este trabajo, indican que los juveniles de camarón café *P. californiensis* son capaces de ajustar su metabolismo a variaciones en la temperatura y nivel de oxígeno, probablemente por mecanismos de respuesta a nivel celular y funcional. La especie posee los mecanismos fisiológicos para tolerar niveles inferiores a 3 mg/L dentro del intervalo 23-27 °C.

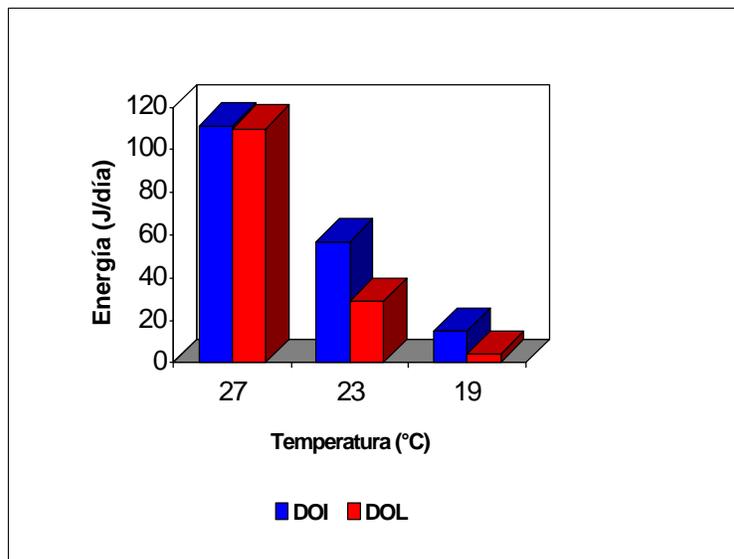


Figura 5. Eficiencia neta de crecimiento en juveniles de camarón café, *P. californiensis*, bajo el efecto de tres temperaturas y dos niveles de oxígeno.

Apéndice

Perfil de aminoácidos del alimento suministrado a juveniles de camarón café, *P. californiensis*

Aminoácido	RANGEN 35% proteína cruda g/100 g muestra seca
Ac. aspártico	7.35
Ac. glutámico	10.27
Serina	3.52
Histidina	1.74
Glicina	4.80
Treonina	4.32
Arginina	7.37
Alanina	2.26
Tirosina	2.09
Metionina	1.47
Valina	4.18
Fenilalanina	2.18
Isoleucina	4.13
Leucina	5.97
Lisina	6.22
Triptofano	1.44
TOTAL	69.30
REPORTADO	64.41

Referencias:

- Allan, G.L. Maguire, G.B. and Hopkins, S.J. 1990. Acute and chronic toxicity of ammonia to juvenile *Metapenaeus macleayi* and *Penaeus monodon* and the influence of low dissolved-oxygen levels. *Aquaculture*. 91, 265-280.
- AOAC 1984. Official methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist, Arlington, Va.
- Armitage, K.B. and Wall, T.J. 1982. The effect of body size, starvation and temperature acclimation on oxygen consumption of the crayfish *Orconectes nais*. *Comp. Biochem. Physiol.* 73A(1), 63-68.
- Barón-Sevilla, B. Díaz-Herrera, F. and Buckle Ramírez, L.F. 1994. Energy budget for the red swamp crawfish *Procambarus clarkii* (Crustacea, Camaridae). *Revista Italiana Acquacultura*. 29, 103-107.
- Blaxter, K.L. 1989. Energy metabolism in animals and man. Cambridge University Press, New York U.S.A. 336 pp.
- Boyd, C.E. 1979. Water quality in Warmwater Fish Ponds. Alabama Agricultural Experiments Station, Auburn University, Auburn, Alabama. 359 pp.
- Bridges, C.R. and Brand, A.R. 1980. Oxygen consumption and oxygen independence in marine crustaceans. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2, 133-141.
- Dall, W. and Smith, D.M. 1986. Oxygen consumption and ammonia excretion in fed and starved tiger prawns, *Penaeus esculentus* Haswell. *Aquaculture*. 55, 23-33.
- Dalla-Via, G. J. 1987. Effects of salinity and temperature on oxygen consumption in a freshwater population of *Palaemonetes antennarius* (Crustacea, Decapoda). *Comp. Biochem. Physiol.* 88A(2), 299-305.

- DuPreez, H.H. Chen, H.Y. and Hsienh, C.S.** 1992. Apparent specific dynamic action of food in the grass shrimp, *Penaeus monodon* Fabricus. Comp. Biochem. Physiol. 103A(1), 173-178.
- Egusa, S.** 1961. Studies on the respiration of the "kuruma" prawn, *Penaeus japonicus* Bate. II Preliminary experiments on its oxygen consumption. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 27, 650-659.
- Kurmaly, K. Yule, A.B. and Jones, D.A.** 1989. Effects of body size and temperature on the metabolic rate of *Penaeus monodon*. Mar. Biol. 103, 25-30.
- Liao, I.C. and Huang, H.J.** 1975. Studies on the respiration of economic prawns in Taiwan. Oxygen consumption and lethal dissolved oxygen of egg up to young prawn of *Penaeus monodon* Fabricus. Journal of the Fisheries Society of Taiwan. 4, 33-50.
- Llobrera, J.A.** 1983. Effects of dissolved oxygen on the survival, growth and energetic of juvenile freshwater shrimp, *Machrobrachium rosenbergii*. Ph.D. Dissertation, Texas A&M University, College Station, Texas, 116 pp.
- Logan, D.T. and Epifanio, C.E.** 1978. A laboratory energy balance for the larvae and juveniles of the American lobster *Homarus americanus*. Mar. Biol. 47, 381-389.
- Lucas, A.** 1993. Bioénergétique des animaux aquatiques. Masson, Paris. 179 pp.
- Mackay, R.D.** 1974. A note on minimal levels of oxygen required to maintain life in *Penaeus schmitti*. Proc. World Maric. Soc. 5, 451-452.
- Martínez, E.** 1996. Condiciones para el crecimiento del camarón blanco *Penaeus setiferus*: modelos para su cultivo. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias. UNAM. 95 pp.
- Martínez, L.R. Porchas, M.A. and Villarreal, H.** 1998. Winter culture of yellowleg shrimp *Penaeus californiensis* in aerated ponds with low water exchange. J. World Aquaculture Soc. 29(1), 120-124.
- Morrisy, N.M. Caputi, N. and House, R.R.** 1984. Tolerance of marron (*Cherax tenuimanus*) to hypoxia in relation to aquaculture. Aquaculture. 41, 61-74.
- Newell, R.C.** 1969. Effect of fluctuations in temperature on the metabolism of intertidal invertebrates. Am. Zool. 9, 293-307.
- Nelson, S.C. Knight, A.W. and Li, H.W.** 1977. The metabolic cost of food utilization and ammonia production by juvenile *Machrobrachium rosenbergii* (Crustacea, Palaemonidae). Comp. Biochem. Physiol. 56A, 67-72.
- Porchas, M.A. Martínez, L.R. Magallón, F. Naranjo, J. and Portillo, G.** 1995. Efecto de la macroalga *Caulerpa sertularioides* en el desarrollo del camarón café *Penaeus californiensis* Holmes, 1900, en cautiverio, a bajas temperaturas.
- Rouse, D.B.** 1981. The evaluation of *Machrobrachium rosenbergii* and *Tilapia aurea* polyculture in Texas. Ph.D. Dissertation, Texas A&M University, College Station, Texas.
- Rosas, C. Vanegas, C. Tabares, I. and Ramírez, J.** 1993. Energy balance of *Callinectes rathbune* Contreras 1930 in floating cages in a tropical coastal lagoon. J. World Aquacult. Soc. 24(1), 71-79.
- Rosas, C. Sánchez, A. Diaz, E. Soto, L.A. Gaxiola, G. and Brito, R.** 1996. Effect of dietary protein level on apparent heat increment and post-prandial nitrogen excretion on *Penaeus setiferus*, *P. schmitti*, *P. duorarum* and *P. notialis* postlarvae. J. World Aquac. Soc., 27, 92-102.
- Scelzo, A.M. and Zuñiga, O.** 1987. Consumo de oxígeno en el camarón *Penaeus brasiliensis* Latreille (Decapoda: Penaeidae) en relación a salinidad y temperatura. Memoria Sociedad de Ciencias La Salle. Tomo XLVII, Núm. 127-128. Puerto Madryn, Argentina. 201-215.
- Seidman, E.R. and Lawrence, A.L.** 1985. Growth, feed digestibility and proximate body composition of juvenile *Penaeus vannamei* and *Penaeus monodon* grown at different dissolved oxygen levels. J. Maric. Soc. 16, 336-346.
- Villarreal, H.** 1989. Feeding, growth and energetics of the freshwater crayfish *Cherax tenuimanus* (Smith) with special emphasis on its potential for commercial culture. Ph. D. Thesis, U. of Queensland. 249 pp.
- Villarreal, H.** 1991. A partial energy budget for the Australian crayfish *Cherax tenuimanus*. J. World Aquacult. Soc. 22(2), 252-259.
- Villarreal, H. and Ocampo, L.** 1993. Effect of size and temperature on the oxygen consumption of the brown shrimp *Penaeus californiensis* (Holmes, 1900). Comp. Biochem. Physiol. 106A, 197-101.
- Villarreal, H. and Rivera, J.** 1993. Effect of temperature and salinity on the oxygen consumption of laboratory produced *Penaeus californiensis* postlarvae. Comp. Biochem. Physiol. 106A(1), 103-107.
- Wolvekamp, N.R. and Waterman, T.H.** 1960. Respiration. In: The Physiology of Crustacea. Waterman, T.H.(ed) Vol 1. Academic Press, New York. 670 pp.

- Zanders, J.P. and Rodríguez, J.M.** 1992. Effects of temperature and salinity stress on osmoionic regulation in adult and on oxygen consumption in larvae and adults of *Machrobrachium amazonicum* (Decapoda, Palaemonidae). *Comp. Biochem. Physiol.* 101A(3), 505-509.
- Zuñiga, S.** 1983. Distribución de la energía en juveniles *Penaeus brasiliensis* alimentados con dietas diferentes. *Cienc. Tec. Mar. CONA.* 7, 27-45.