

**BALANCE ENERGETICO DE POSTLARVAS Y JUVENILES DEL
LANGOSTINO MALAYO *Macrobrachium rosenbergii* DE MAN
(CRUSTACEA: PALAEMONIDAE)**

**ENERGY BUDGET FOR POSTLARVAE AND JUVENILES OF THE
MALAYSIAN PRAWN *Macrobrachium rosenbergii* DE MAN
(CRUSTACEA: PALAEMONIDAE)**

Fernando Díaz-Herrera^{1*}
Gabriel Juárez-Castro¹
Estela Pérez-Cruz¹
L. Fernando Bückle-Ramírez²

¹ Laboratorio Acuario
Departamento de Biología
Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México
04510 México, D.F.

² Centro de Investigación Científica y de Educación
Superior de Ensenada (CICESE)
Departamento de Acuicultura
Av. Espinoza 843
Ensenada 22830, Baja California, México

Recibido en junio de 1991; aceptado en septiembre de 1991

RESUMEN

Se realizó un experimento para determinar el balance energético de las postlarvas y los juveniles de *Macrobrachium rosenbergii* alimentados con Bovilac Langostino y Chow Trucha Purina. El efecto dinámico específico fue 4% y 7% mayor para las postlarvas y los juveniles alimentados con purina. Los valores calculados del campo de crecimiento para las postlarvas y los juveniles del langostino fueron 11.62% y 18.66% mayores para los organismos alimentados con Chow Trucha Purina ($P < 0.05$). Los indicadores del sustrato energético utilizado por los organismos como el cociente respiratorio, la relación atómica O:N y la tasa de sustrato metabólico, indicaron que los principales sustratos oxidados por los langostinos fueron los carbohidratos, seguidos por los lípidos y en menor proporción por las proteínas. Ya que ambos estadios de desarrollo utilizaron los carbohidratos como la principal fuente energética para cubrir sus requerimientos metabólicos, se puede concluir que el mayor porcentaje de las proteínas suministradas por Chow Trucha Purina a través del alimento ingerido fueron canalizadas hacia el crecimiento corporal.

Palabras claves: Balance energético, campo de crecimiento, relación atómica O:N, efecto dinámico específico, consumo de oxígeno, excreción nitrogenada, desaminación, amoniaco.

*Dirección actual: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Departamento de Acuicultura, Av. Espinoza 843, Ensenada, 22830 Baja California, México.

ABSTRACT

An experiment was conducted to determine the energy budget of postlarvae and juveniles of *Macrobrachium rosenbergii* fed with Bovilac Prawn and Purina Trout Chow. The specific dynamic effect was 4% and 7% greater for postlarvae and juveniles fed Purina. The values calculated for the scope for growth obtained for postlarval and juvenile prawns were 11.62% and 18.66% for organisms fed Purina Trout Chow ($P < 0.05$). Indicators of energetic substrate such as respiratory quotient, O:N atomic ratio and the rate of metabolic substrate, showed that the main substrates oxidized by the prawns were carbohydrates, followed by lipids and in less amount proteins. Since both prawn developmental stages used carbohydrates as the main substrate to meet their metabolic requirements, we can conclude that the highest percentage of proteins supplied by Purina Trout Chow was channelled into growth.

Key words: Energy budget, scope for growth, O:N atomic ratio, specific dynamic effect, oxygen consumption, nitrogen excretion, deamination, ammonia.

INTRODUCCION

Los balances energéticos se han determinado para una variedad de especies acuáticas de diferentes niveles tróficos, incluyendo a consumidores primarios, depredadores y detritívoros (Nelson *et al.*, 1977; Paul y Fuji, 1989; Kurmaly *et al.*, 1989). Muchos organismos no pueden incluirse en un solo nivel trófico, ya que pueden funcionar en más de un nivel y ocupar diferentes categorías tróficas en los diferentes estadios de su ciclo de vida. Una de tales especies es el langostino malayo *Macrobrachium rosenbergii*, de gran importancia comercial ya que ha sido introducido en muchos países del mundo, incluyendo a México, para el cultivo y consumo humano en una gran variedad de esquemas acuiculturales (Ling, 1969; Nelson *et al.*, 1977; Holtschmit, 1988).

Clifford y Brick (1979) mencionan que el objetivo de los experimentos de crecimiento con crustáceos de interés comercial, debiera ser el aislamiento y la optimización de aquellos factores ambientales como la temperatura, la salinidad y los nutricionales, los cuales tienen un efecto sinérgico y pueden incrementar la tasa de crecimiento de los animales cultivados.

En los organismos el crecimiento representa la salida neta de energía; la entrada es la energía incorporada con el alimento ingerido. También es necesario considerar como salida la energía que es canalizada a los procesos metabólicos y la pérdida en la producción de heces y excreción nitrogenada. Por lo tanto, el crecimiento puede ser considerado como un integrador de los diferentes procesos fisiológicos que ocurren en el interior del

INTRODUCTION

Energy budgets have been determined for several aquatic species of different trophic levels, including primary consumers, predators and detritus feeders (Nelson *et al.*, 1977; Paul and Fuji, 1989; Kurmaly *et al.*, 1989). Many organisms cannot be included in only one trophic level since they can function in more than one level and occupy different trophic positions during the different stages of their life cycle. The Malaysian prawn *Macrobrachium rosenbergii* is such a species. It is of great commercial importance, having been introduced into many countries, including Mexico, for human consumption and culture in various aquacultural projects (Ling, 1969; Nelson *et al.*, 1977; Holtschmit, 1988).

Clifford and Brick (1979) mention that the objective of growth experiments with crustaceans of commercial interest should be the isolation and optimization of nutritional and environmental factors, such as temperature and salinity, which have a synergistic effect and can increase the growth rate of the animals cultured.

In organisms, growth represents the net release of energy. Energy is obtained from the food ingested. Energy expended on metabolic processes and lost to excretion must also be considered. Therefore, growth can be considered an integrator of the different physiological processes that occur within the organism (digestion, assimilation, respiration and excretion). Any change in nutritional or environmental factors will be reflected in a decrease in growth (Brett and Groves, 1979). In an organism's energy budget, the difference between energy assimilated and energy expended

organismo (digestión, asimilación, respiración y excreción). Cualquier cambio de los factores ambientales o nutricionales se verá reflejado en la disminución del crecimiento (Brett y Groves, 1979). En el balance energético del organismo, la diferencia entre la energía asimilada y la suma de los gastos destinados a la respiración, producción de heces y excreción nitrogenada, es llamada "campo de crecimiento" (Paloheimo y Dickie, 1966; Warren y Davis, 1967).

El balance de energía de un organismo puede ser descrito al utilizar la ecuación propuesta por Klekowski y Duncan (1975):

$$C = R + F + U + EDE + P$$

donde C es la energía ingerida en el alimento consumido, R es la utilizada para gastos metabólicos (respiración, movimiento y otros), F es el contenido de energía de aquella parte del material ingerido que no fue asimilado, U es la energía del material digerido que es eliminado del cuerpo como productos nitrogenados, EDE es el incremento de la tasa metabólica debido a la ingestión, asimilación, transporte, tratamiento bioquímico e incorporación del alimento y P es la energía canalizada hacia el crecimiento o producción.

El conocimiento de este balance de energía es un método útil para evaluar la influencia de diferentes dietas en el laboratorio (Nelson *et al.*, 1977; Dawirs, 1983).

En los crustáceos decápodos se han determinado balances energéticos para las larvas de *Mennipe mercenaria* (Mootz y Epifanio, 1974); *Homarus americanus* (Logan y Epifanio, 1978; Sasaki *et al.*, 1986); *Rhitropanopeus harrissi* (Levine y Sulkin, 1979); *Carcinus maenas* (Dawirs, 1983) y *Penaeus monodon* (Kurmaly *et al.*, 1989). No obstante la importancia económica del langostino y el consecuente interés en su tasa de crecimiento, poco se conoce como se distribuye su presupuesto energético en diferentes estadios de su ciclo de vida, por lo que el objetivo del presente trabajo experimental de laboratorio fue determinar el efecto de dos dietas balanceadas comerciales, Bovilac Langostino y Chow Trucha Purina, sobre el balance energético de las postlarvas y los juveniles del langostino malayo *Macrobrachium rosenbergii*.

on respiration, faecal production and nitrogen excretion is called "scope for growth" (Paloheimo and Dickie, 1966; Warren and Davis, 1967).

An organism's energy budget can be described using Klekowski and Duncan's (1975) equation:

$$C = R + F + U + EDE + P$$

where C is energy ingested from matter consumed, R is energy expended on metabolic processes (respiration, movement and others), F is energy expended on egestion of ingested matter, U is the energy of the digested material eliminated as nitrogenous wastes, EDE is the metabolic rate increase due to ingestion, assimilation, transport, biochemical treatment and incorporation of food and P is energy channelled into growth or production.

The construction of an energy budget is a useful method to evaluate the influence of different diets in the laboratory (Nelson *et al.*, 1977; Dawirs, 1983).

In decapod crustaceans, energy budgets have been determined for larvae of *Mennipe mercenaria* (Mootz and Epifanio, 1974); *Homarus americanus* (Logan and Epifanio, 1978; Sasaki *et al.*, 1986); *Rhitropanopeus harrissi* (Levine and Sulkin, 1979); *Carcinus maenas* (Dawirs, 1983) and *Penaeus monodon* (Kurmaly *et al.*, 1989). Despite the economic importance of the prawn and the interest in its growth rate, little is known about the distribution of its energy budget in different stages of its life cycle. Therefore, the objective of the present laboratory study was to determine the effect of two balanced commercial diets, Bovilac Prawn and Purina Trout Chow, on the energy budget of postlarvae and juveniles of the Malaysian prawn *Macrobrachium rosenbergii*.

MATERIAL AND METHODS

Postlarvae (0.05 to 0.1 g wet weight) and juveniles (0.5 to 1.0 g wet weight) of the Malaysian prawn *Macrobrachium rosenbergii* were used in this study. They were obtained from a private hatchery located in Carrizal de Coyuca de Benítez, Guerrero, Mexico.

The organisms were placed in twelve 70-l tanks for 30 days at a density of 5 organisms/m², in fresh water with a pH of 8.5,

MATERIALES Y METODOS

En el presente estudio se utilizaron postlarvas con un peso húmedo de 0.05 a 0.1 g y juveniles del langostino *Macrobrachium rosenbergii* de 0.5 a 1.0 g, los cuales fueron proporcionados por una granja de producción privada ubicada en el Carrizal de Coyuca de Benítez, Guerrero, México.

Estos organismos fueron mantenidos durante 30 días en doce acuarios de 70 l cada uno a una densidad de 5 organismos/m², en agua dulce con un pH de 8.5, oxígeno disuelto de 5.9 mg/l, dureza de 185 mg/l, alcalinidad de 30 mg/l y a 30 ± 1°C, temperatura que ambos estadios prefirieron al colocarlos en un gradiente horizontal de temperatura (Díaz-Herrera, 1989). El fotoperíodo se mantuvo en 12 h luz.

Las postlarvas y los juveniles del langostino fueron alimentados con dos dietas comerciales balanceadas, Bovilac Langostino y Chow Trucha Purina. Para cada condición experimental se realizaron tres repeticiones. La composición proximal de las dietas (Tabla 1) fue determinada de la siguiente manera: el contenido de proteínas mediante el método de Kjeldahl; lípidos totales con el método propuesto por Bligh y Dyer (1959); carbohidratos, fibra y cenizas de acuerdo a las técnicas de la AOAC (1980).

Las dietas comerciales fueron suministradas en forma de "pellet" comercial estándar en una ración diaria equivalente al 40% del peso corporal de las postlarvas y al 10% para los juveniles.

El período de alimentación para ambos estadios fue de dos horas en las cuales los alimentos utilizados no se disgregaron y no perdieron su composición original desde el punto de vista bromatológico y calórico, después de las cuales el alimento remanente fue retirado de los acuarios mediante un sifón en el extremo del cual se colocó una malla de 50 µm y se secó en una estufa Blue M a 60°C hasta peso seco constante.

Se calcularon los siguientes índices fisiológicos. El alimento ingerido por las postlarvas y los juveniles (C) se determinó mediante el método gravimétrico, el consumo de oxígeno (R) se cuantificó de manera individual en un respirómetro semiabierto provisto de 20 cámaras respirométricas de 250 ml y se midió con un oxímetro YSI 54 ARC y un sensor

dissolved oxygen of 5.9 mg/l, hardness of 185 mg/l, alkalinity of 30 mg/l, and at 30 ± 1°C, temperature preferred by both stages on placing them in a horizontal temperature gradient (Díaz-Herrera, 1989). The photoperiod was 12 h light.

The postlarvae and juveniles of the prawn were fed on two balanced commercial diets, Bovilac Prawn and Purina Trout Chow. Three replications were made for each experimental condition. The proximal content of the diets (Table 1) was determined as follows: protein content with the Kjeldahl method; total lipids with the method proposed by Bligh and Dyer (1959); carbohydrates, fibre and ashes according to the techniques of the AOAC (1980).

The commercial diets were supplied in the form of standard pellets at a daily ration equivalent to 40% of the body weight of the postlarvae and 10% for the juveniles.

The feeding period for both stages was of two hours in which the food did not disintegrate or lose its original composition from a nutritional and caloric point of view. The food left over was removed from the tanks using a 50 µm mesh on the end of a siphon and dried to constant dry weight in a Blue M oven at 60°C.

The following physiological indices were calculated. Food ingested by the postlarvae and juveniles (C) was determined with the gravimetric method. Oxygen consumption (R) was quantified individually in a semiopen respirometer with twenty 250-ml respiratory chambers and measured with a YSI 54 ARC oximeter and a polarographic sensor which was calibrated with the Winkler method. Oxygen consumption was measured every three hours during a 24-hour period. In each three-hour period, the respiratory chambers remained open (continuous flow of water) for one hour and the initial measurement of dissolved oxygen in each chamber was made. The final measurement was made after the chambers had been closed for two hours. With the juveniles, the respiratory chambers were open for two hours and closed only one hour so that the dissolved oxygen content in the chambers would not fall less than 25 to 30% of the initial concentration and would not constitute a stress factor (Stern *et al.*, 1984). Oxygen consumption was measured by the difference between initial and final concen-

Tabla 1. Composición proximal de los alimentos Bovilac y Purina proporcionados a las postlarvas y juveniles de *Macrobrachium rosenbergii*.

Table 1. Proximal content of Bovilac and Purina supplied to the postlarvae and juveniles of *Macrobrachium rosenbergii*.

Alimento	Contenido %				
	Proteínas	Lípidos	Carbohidratos	Fibra	Cenizas
Bovilac	37.58	8.56	26.44	9.51	17.92
Purina	44.16	7.69	26.78	8.96	12.40

polarográfico, el cual fue calibrado con el método Winkler. Las mediciones del consumo de oxígeno se hicieron cada tres horas durante un período de 24 horas. En cada período de tres horas las cámaras respirométricas permanecieron abiertas (flujo continuo de agua) durante una hora, correspondiendo esto a la medición inicial de oxígeno disuelto en cada cámara y la final transcurrida las dos horas en que las cámaras se mantuvieron cerradas. Con los juveniles, las cámaras respirométricas estuvieron abiertas dos horas y sólo una hora cerradas con el fin de que en las cámaras el contenido de oxígeno disuelto no descendiera menos del 25 al 30% de la concentración inicial y no constituyera un factor de estrés (Stern *et al.*, 1984). El consumo de oxígeno se midió por la diferencia entre la concentración inicial y final y se convirtió a sus equivalentes calóricos con el factor de 3.53 cal·mg⁻¹ de oxígeno consumido (Elliot y Davison, 1975).

Simultáneamente a los registros del consumo de oxígeno de ambos estadios del langostino, se llevaron a cabo mediciones de la producción de nitrógeno amoniacal (*U*) mediante la técnica de azul de indofenol (Rodier, 1981) y se convirtieron a sus equivalentes calóricos con el factor de 5.73 cal·mg⁻¹ de amonio excretado (Clifford y Brick, 1979).

Para estimar la producción de heces (*F*) de las postlarvas y de los juveniles del langostino, éstas se colectaron cada 24 horas antes de administrar el alimento con una red de 50 µm instalada en el extremo del sifón.

El efecto calorigénico de los alimentos proporcionados (*EDE*) se cuantificó mediante el consumo de oxígeno de ambos estadios del langostino durante ciclos de 24 horas en dos condiciones diferentes: alimentados y mantenidos en inanición durante 48 horas.

tration and was converted into its caloric equivalent with the factor of 3.53 cal·mg⁻¹ of oxygen consumed (Elliot and Davison, 1975).

Simultaneous to the determination of oxygen consumption, measurements were made of the production of ammonia nitrogen (*U*) using the indophenol blue technique (Rodier, 1981) and converted into their caloric equivalents with the factor of 5.73 cal·mg⁻¹ of ammonia excreted (Clifford and Brick, 1979).

To estimate egestion (*F*) of the postlarvae and juveniles of the prawn, faeces were collected every 24 hours before administering the food with a 50 µm mesh on the end of a siphon.

The caloric effect of the food provided (*EDE*) was quantified on determining oxygen consumption of both prawn stages during 24-hour cycles under two different conditions: fed and starved for 48 hours.

The production of CO₂ was evaluated with the equation reported by Clifford and Brick (1979),

$$QCO_2 = 1.137 W^{-0.452}$$

for prawn juveniles fed on nine diets with different levels of proteins, lipids and carbohydrates, of which two were similar to Bovilac and Purina. All experiments were made with organisms between molts so as to exclude the amount of energy expended on the formation of the exoskeleton, which for the prawn is not more than 3% (Nelson *et al.*, 1977).

On applying the principles of respiratory thermochemistry and of indirect calorimetry, the following metabolic indices were examined: respiratory quotient CO₂ produced/O₂ con-

La evaluación de la producción de CO₂ se hizo con la ecuación reportada por Clifford y Brick (1979),

$$QCO_2 = 1.137W^{-0.452}$$

para los juveniles del langostino alimentados con nueve dietas que tuvieron diferentes niveles de proteínas, lípidos y carbohidratos, de las cuales dos fueron similares a Bovilac y Purina. Todos los experimentos se hicieron con organismos en estadio de intermuda para excluir el gasto energético derivado hacia la formación del exoesqueleto que para el langostino no es más del 3% (Nelson *et al.*, 1977).

Al aplicar los principios de la termoquímica respiratoria y de la calorimetría indirecta, se examinaron los siguientes índices metabólicos: cociente respiratorio CO₂ producido/O₂ consumido (CR), la relación atómica oxígeno/nitrógeno (O:N) y la tasa de utilización del sustrato metabólico, para estimar las cantidades relativas de carbohidratos, lípidos y proteínas oxidados por los langostinos durante el período experimental (Brody, 1954; Gnaiger, 1983; Clifford y Brick, 1983).

Los datos obtenidos cada tres horas durante los ciclos de 24 horas de las mediciones del consumo de oxígeno y la excreción nitrogenada, tanto de las postlarvas como de los juveniles, se relacionaron con su peso seco corporal con el fin de obtener los parámetros de la regresión lineal resistente (Tuckey, 1977; Mosteller y Tuckey, 1977; Curts, 1986).

Con las rectas de regresión, se calcularon los valores esperados del consumo de oxígeno y la excreción nitrogenada de ambos estadios del langostino, por la diferencia entre los valores observados (Y_i) y los residuos (E_i). Los valores esperados resultantes se sometieron a la prueba de suavización (4253 H) para absorber los casos extremos con el programa de cómputo de Velleman y Hoaglin (1981).

Los datos del consumo de alimento, respiración, producción de heces, excreción nitrogenada, efecto dinámico específico y campo de crecimiento de las postlarvas y los juveniles se organizaron en cajas en paralelo, y se identificó la mediana (M) para poder observar y describir el comportamiento de los diferentes parámetros de la ecuación del balance energético (Tuckey, 1977).

Para cuantificar si las dietas ejercieron algún efecto sobre la ingestión del alimento,

sumed (CR), oxygen/nitrogen (O:N) atomic ratio and rate of use of metabolic substrate, in order to estimate the relative quantities of carbohydrates, lipids and proteins oxidized by the prawn during the experimental period (Brody, 1954; Gnaiger, 1983; Clifford and Brick, 1983).

The oxygen consumption and nitrogen excretion data obtained every three hours during the 24-hour cycles, for both postlarvae and juveniles, were related to their dry body weight in order to obtain the parameters of resistant linear regression (Tuckey, 1977; Mosteller and Tuckey, 1977; Curts, 1986).

With the linear regressions, the expected values of oxygen consumption and nitrogen excretion for both prawn stages were calculated from the difference between the values observed (Y_i) and the residuals (E_i). The expected values obtained were applied the softening (4253 H) test to absorb the extreme cases with Velleman and Hoaglin's (1981) computer program.

Food consumption, respiration, faecal production, nitrogen excretion, specific dynamic effect and scope for growth data of the postlarvae and juveniles were arranged in parallel boxes, and the median (M) was identified to be able to observe and describe the behaviour of the different parameters of the energy budget equation (Tuckey, 1977).

To quantify if the data exerted any effect on food ingestion, respiratory metabolism, faecal production, nitrogen excretion, specific dynamic effect and scope for growth of the postlarvae and juveniles of the prawn, they were compared based on the one-way analysis of variance (Zar, 1974).

RESULTS

The energy budget distribution diagrams for the postlarvae and juveniles of the prawn fed both diets are shown in Figures 1 and 2. Energy ingested from food was 40% for the postlarvae and 24% for the juveniles. The values were higher for the organisms fed on Purina than on Bovilac ($P < 0.05$).

Energy channelled into oxygen consumption by the postlarvae fed both diets had the same level, 11.40 cal·day⁻¹·ind⁻¹. In juveniles, oxygen consumption decreased 33.3% relative to that determined for postlarvae.

Energy lost through faeces was always higher in the organisms fed Purina ($P < 0.05$). Of the assimilated energy, losses due to

metabolismo respiratorio, producción de heces, excreción nitrogenada, efecto dinámico específico y campo de crecimiento de las postlarvas y los juveniles del langostino, se contrastaron en base al análisis de varianza de una vía (Zar, 1974).

RESULTADOS

Los esquemas de la distribución del balance energético de las postlarvas y de los juveniles del langostino alimentados con ambas dietas se muestran en las Figuras 1 y 2, donde se observa que la energía ingerida a través del alimento fue de un 40% para las postlarvas y de 24% para los juveniles, valores que fueron más altos para los organismos alimentados con Purina que con Bovilac ($P < 0.05$).

La energía destinada para el consumo de oxígeno por las postlarvas alimentadas con ambas dietas tuvo el mismo nivel, $11.40 \text{ cal-día}^{-1} \cdot \text{ind}^{-1}$. En los juveniles el consumo de oxígeno en relación al determinado en las postlarvas disminuyó en un 33.3%.

La energía perdida a través de las heces fue siempre mayor en los organismos que fueron nutridos con Purina ($P < 0.05$). De la energía asimilada, las pérdidas por la vía de producción de heces fueron mayores para las postlarvas que fueron sustentadas con Purina, en cambio para los juveniles alimentados con ambas dietas éstas fueron similares y mínimas comparadas con la energía asimilada ya que comprendió menos del 0.05% (Figs. 1 y 2).

El efecto dinámico específico (*EDE*) fue de un 4% mayor para las postlarvas nutridas con Purina que para las alimentadas con Bovilac; en los juveniles hubo la misma tendencia que en las postlarvas y fue solamente un 7% mayor para los organismos que fueron nutridos con Purina (Tabla 2).

El campo de crecimiento calculado fue de 11.62% y 18.66% más alto para las postlarvas y los juveniles alimentados con Purina ($P < 0.05$), respectivamente. La potencialidad de crecimiento de los organismos a los cuales se les suministró Bovilac disminuyó con respecto a los que se les proporcionó Purina; sin embargo, en ambos casos el campo de crecimiento fue positivo (Figs. 1 y 2).

El cociente respiratorio de las postlarvas y de los juveniles tuvo un intervalo de 1.1 a 0.95, en consecuencia el sustrato principal oxidado por los langostinos fueron los carbo-

production of faeces were higher for the postlarvae fed Purina. However, for the juveniles fed both diets these losses were similar and minimum compared with the assimilated energy, comprising less than 0.05% (Figs. 1 and 2).

The specific dynamic effect (*EDE*) was 4% higher for the postlarvae fed Purina than those fed Bovilac. The tendency was the same in juveniles and the *EDE* was only 7% higher for the organisms fed Purina (Table 2).

The scope for growth calculated was 11.62% and 18.66% higher for the postlarvae and juveniles fed Purina ($P < 0.05$), respectively. Growth potential of the organisms fed on Bovilac decreased with respect to those given Purina. However, the scope for growth was positive in both cases (Figs. 1 and 2).

The respiratory quotient values of the postlarvae and juveniles ranged from 1.1 to 0.95, consequently carbohydrates were the main substrate oxidized by the prawns. Values ranging from 25.50 to 46.82 for both stages were obtained for the O:N atomic ratio. Therefore, we consider that the organisms had a nonprotein metabolism based mainly on the catabolism of carbohydrates and in less amount lipids (Tables 3 and 4).

The rate of metabolic substrate oxidized by the postlarvae and juveniles was also determined, which quantitatively described the mixed use of substrates. The carbohydrates were those with the highest percentage of oxidation (72.16 to 77.36%), followed by the lipids (15%) and proteins (7 to 13%) (Tables 3 and 4).

DISCUSSION

The objective of bioenergetic studies of commercially important aquatic crustaceans is to know the rate of caloric exchange between the organism and its environment.

The increase in the metabolic rate of the postlarvae and juveniles after being fed was due to the fact that the diets exerted an *EDE*, which was similar for the organisms fed Purina and Bovilac. These results are analogous to those reported by Nelson *et al.* (1977) for juveniles of *Macrobrachium rosenbergii* fed with three diets which increased the metabolic rate from 7.1% to 35%. Clifford and Brick (1978) obtained an *EDE* increase of 2.3 to 19.6% for *M. rosenbergii* fed with nine diets. In organisms of *Crangon franciscorum*, an

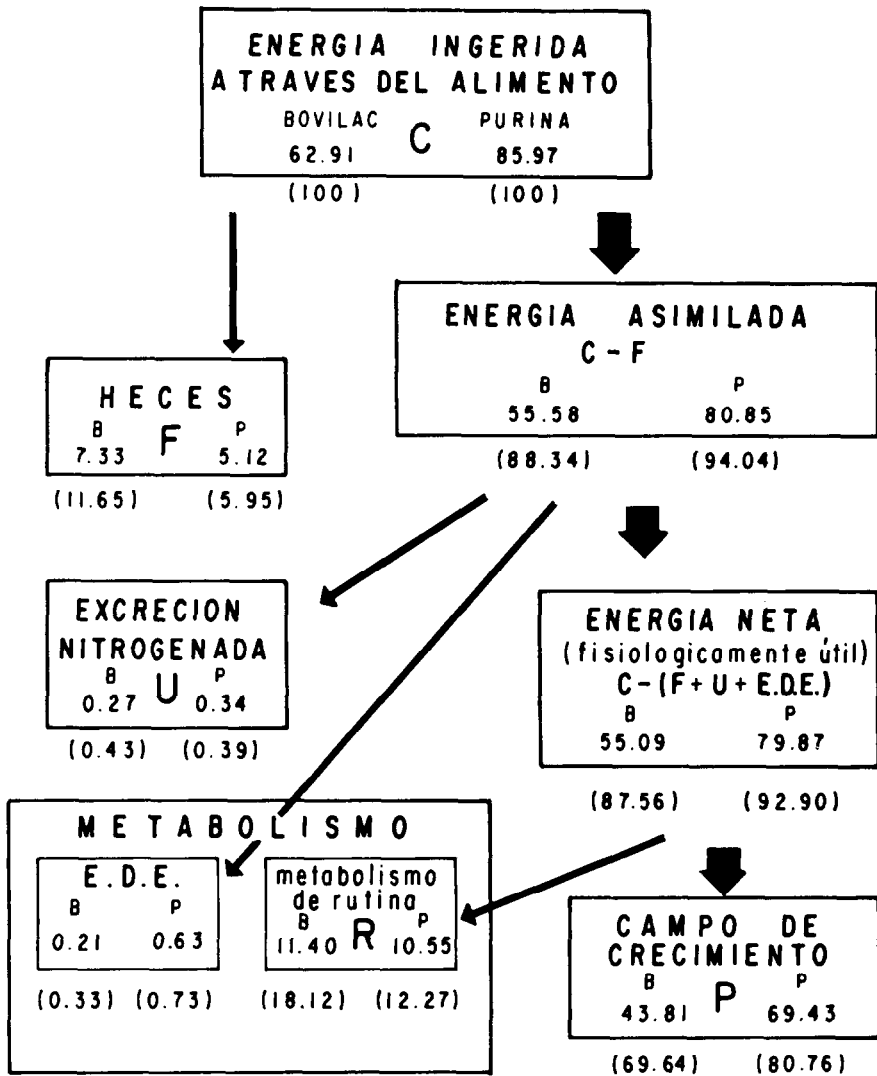


Figura 1. Distribución de la energía extraída al alimento ingerido en las postlarvas del langostino *Macrobrachium rosenbergii* alimentadas con las dietas Bovilac (B) y Purina (P) en cal·día⁻¹·ind⁻¹ y el porcentaje correspondiente en paréntesis.

Figure 1. Distribution of energy ingested from food in postlarvae of the prawn *Macrobrachium rosenbergii* fed Bovilac (B) or Purina (P) in cal·day⁻¹·ind⁻¹ and percentage in parentheses.

hidratos. La relación atómica O:N cuantificada para ambos estadios del langostino tuvo valores de 25.50 a 46.82, por lo tanto se considera que los organismos tuvieron un metabolismo no proteico basado principalmente en el catabolismo de los carbohidratos y de lípidos en menor proporción (Tablas 3 y 4).

increase of 14% to 43% in the rate of oxygen consumption was reported, higher than that of animals kept in starvation (Nelson *et al.*, 1985).

It has been established that the EDE in aquatic organisms is related to the metabolism of the proteins and especially to deamination

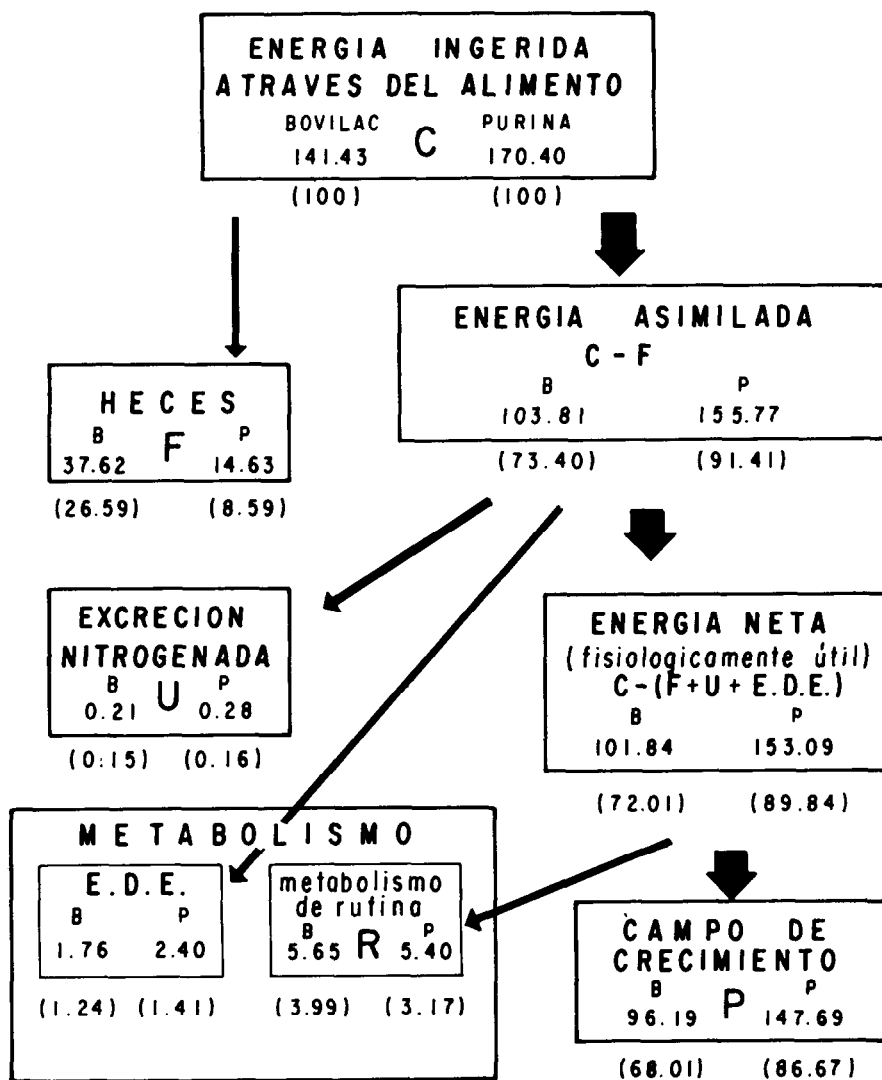


Figura 2. Distribución de la energía extraída del alimento consumido en los juveniles del langostino *Macrobrachium rosenbergii* alimentados con las dietas Bovilac (B) y Purina (P) en $\text{cal-día}^{-1}\text{-ind}^{-1}$ y el porcentaje correspondiente en paréntesis.

Figure 2. Distribution of energy ingested from food in juveniles of the prawn *Macrobrachium rosenbergii* fed Bovilac (B) or Purina (P) in $\text{cal-day}^{-1}\text{-ind}^{-1}$ and percentage in parentheses.

También se investigó la tasa de utilización del sustrato metabólico oxidado por ambos estadios del langostino, la cual describió cuantitativamente la utilización mezclada de sustratos de los cuales los carbohidratos fueron los que tuvieron el mayor porcentaje de

of the proteins. This is reflected in the magnitude of the rate of nitrogen excretion, which was slightly higher for the postlarvae and juveniles of the prawn *Macrobrachium rosenbergii* fed Purina. Similar results have been reported for *Crangon franciscorum*,

Tabla 2. Consumo de oxígeno (QO₂) de las postlarvas y de los juveniles de *Macrobrachium rosenbergii* alimentados y mantenidos durante 48 horas en inanición. Mediana ± el intervalo de confianza (I.C.).

Table 2. Oxygen consumption (QO₂) of postlarvae and juveniles of the prawn *Macrobrachium rosenbergii* fed and kept in starvation during 48 hours. Median ± confidence limits (C.I.).

Alimento	QO ₂ (mg O ₂ h ⁻¹ .g ⁻¹ PS) Alimentados	QO ₂ (mg O ₂ h ⁻¹ .g ⁻¹ PS) Inanición	Incremento del QO ₂ después de alimentados (%)
Postlarvas			
Bovilac	3.29 ± 0.10	3.23 ± 0.16	2.0
Purina	3.17 ± 0.10	2.99 ± 0.09	6.0
Juveniles			
Bovilac	2.10 ± 0.04	1.60 ± 0.06	24.0
Purina	2.21 ± 0.04	1.53 ± 0.03	31.0

Tabla 3. Cociente respiratorio, relación atómica O:N y tasa de utilización del sustrato metabólico de las postlarvas de *Macrobrachium rosenbergii*.

Table 3. Respiratory quotient, O:N atomic ratio and rate of use of metabolic substrate determined in postlarvae of *Macrobrachium rosenbergii*.

Indice metabólico	Postlarvas	
	Bovilac	Purina
Cociente respiratorio	1.00	0.95
Relación atómica O:N	46.82	33.57
Tasa de sustrato metabólico	6.88 ^a : 15.74 ^b : 77.36 ^c	9.75 ^a : 15.28 ^b : 74.97 ^c

% proteínas^a : % lípidos^b : % carbohidratos^c

Tabla 4. Cociente respiratorio, relación atómica O:N y tasa de utilización del sustrato metabólico de los juveniles de *Macrobrachium rosenbergii*.

Table 4. Respiratory quotient, O:N atomic ratio and rate of use of metabolic substrate determined in juveniles of *Macrobrachium rosenbergii*.

Indice metabólico	Juveniles	
	Bovilac	Purina
Cociente respiratorio	0.98	0.95
Relación atómica O:N	36.83	25.50
Tasa de sustrato metabólico	9.08 ^a : 15.39 ^b : 75.73 ^c	12.59 ^a : 14.79 ^b : 72.16 ^c

% proteínas^a : % lípidos^b : % carbohidratos^c

oxidación (72.16 al 77.36%), seguidos por los lípidos con un 15% y las proteínas del 7 al 13% (Tablas 3 y 4).

DISCUSION

Los estudios con enfoque bioenergético que se hacen en crustáceos acuáticos de interés comercial, tienen por objetivo conocer la tasa de intercambio calórico entre el organismo y su ambiente.

El incremento de la tasa metabólica de las postlarvas y de los juveniles después de alimentarlos, se debió a que las dietas utilizadas ejercieron un *EDE* similar para los organismos sustentados con Purina y Bovilac. Estos resultados fueron análogos a los reportados por Nelson *et al.* (1977) para los juveniles de *Macrobrachium rosenbergii* alimentados con tres dietas, las cuales incrementaron la tasa metabólica del 7.1% al 35%. Clifford y Brick (1978) obtuvieron para *M. rosenbergii* alimentados con nueve dietas un incremento del *EDE* de 2.3 a 19.6%. En organismos recién alimentados de *Crangon franciscorum*, se reportó un incremento en la tasa de consumo de oxígeno del 14% al 43% mayor que la de los animales que se mantuvieron en inanición (Nelson *et al.*, 1985).

Se ha establecido que el *EDE* en los organismos acuáticos está relacionado con el metabolismo de las proteínas y en especial con la desaminación de las proteínas, lo cual se puede ver reflejado en la magnitud de la tasa de excreción nitrogenada, que para las postlarvas y los juveniles del langostino *Macrobrachium rosenbergii* fue ligeramente mayor para los organismos alimentados con Purina. Se han reportado resultados similares para *Crangon franciscorum*, cuyos valores de la tasa de excreción de amonio fueron mayores cuando los organismos estuvieron nutridos con misidáceos, que cuando se les alimentó con tubificidos (Nelson *et al.*, 1985). En el bacalao *Gadus morhua* se ha demostrado que la tasa de consumo de oxígeno y de excreción nitrogenada después de la ingestión de alimento no tuvo ninguna relación (Einar y Braaten, 1984).

Por lo tanto, es poco probable que el *EDE* solo pueda ser explicado como el resultado de la desaminación de las proteínas. Aunque la magnitud del *EDE* está determinado por las propiedades de las dietas, es necesario realizar investigaciones adicionales

whose values of rate of ammonia excretion were higher when the organisms were fed on Mysidacea than when they were fed tubificids (Nelson, 1985). In the Atlantic cod *Gadus morhua* it has been shown that the rate of oxygen consumption and of nitrogen excretion after food ingestion had no relation (Einar and Braaten, 1984).

Therefore, that *EDE* can only be explained as the result of deamination of the proteins is unlikely. Even though the magnitude of the *EDE* is determined by the properties of the diet, further studies are necessary to evaluate which components of the diet are responsible for this effect.

On the other hand, the values calculated for the scope for growth, that is growth potential of the postlarvae and juveniles fed on Bovilac and Purina, were higher for the prawns fed Purina. These results indicate that with this diet organisms expended less energy on metabolic requirements such as oxygen consumption, nitrogen excretion and specific dynamic effect. Therefore, the remaining energy was channelled into growth.

Highest potential growth for both postlarvae and juveniles was obtained with the Purina diet. This is due to the fact that this diet has the necessary amounts of proteins, lipids and carbohydrates which are essential for the optimum development of these organisms in culture conditions. These results and those obtained by Díaz-Herrera *et al.* (1992) show that two different types of diets are not needed for each stage of the life cycle of the prawns. It is possible to use one diet with similar nutritional components as those found in Purina or to use Purina Trout Chow, resulting in an improvement of controlled cultures.

The indices of use of metabolic substrate such as respiratory quotient, O:N atomic ratio and rate of use of metabolic substrate for the postlarvae and juveniles of the prawn that were fed Bovilac and Purina, showed that the main substrates oxidized during the experiment were the carbohydrates, followed by the lipids and then the proteins. Regarding the O:N atomic ratio (Tables 3 and 4), similar results have been obtained for *Palaemonetes varians* collected in the summer (34.2) and for the larvae of the American lobster *Homarus americanus* (22.1 to 26.7). These values indicate that these organisms also had a non-protein oxidizing metabolism based mainly on

para evaluar cuáles componentes de las dietas son los responsables del tal efecto.

Por otra parte, los valores del campo de crecimiento que se calcularon, esto es la potencialidad de crecimiento de las postlarvas y de los juveniles que fueron alimentados con Bovilac y Purina, fue siempre mayor para los langostinos que ingirieron Purina. Estos resultados indican que esta dieta produjo menores gastos energéticos para que los organismos cubrieran sus requerimientos metabólicos, tales como el consumo de oxígeno, la excreción nitrogenada y el efecto dinámico específico, por lo que la energía remanente fue canalizada hacia el crecimiento.

El hecho de que con la dieta Purina se obtuvo la mayor potencialidad de crecimiento tanto en las postlarvas como en los juveniles, se debió a que ésta tuvo la calidad necesaria de proteínas, lípidos y carbohidratos indispensables para el desarrollo óptimo de estos organismos en condiciones de cultivo. Estos resultados y los obtenidos por Díaz-Herrera *et al.* (1992) pueden asegurar que no se requiera de dos tipos diferentes de dietas específicas para cada estadio del ciclo de vida de los langostinos, sino que se podrá utilizar una dieta con los componentes nutricionales similares a los de Purina o bien administrarse Chow Trucha Purina, lo cual tendrá como consecuencia una optimización de cultivos controlados.

Los índices de utilización del sustrato metabólico como el cociente respiratorio, la relación atómica O:N y la tasa de utilización del sustrato metabólico para las postlarvas y los juveniles del langostino que fueron alimentados con Bovilac y Purina, revelaron que los principales sustratos oxidados durante el período experimental fueron los carbohidratos, seguidos por los lípidos y las proteínas que constituyeron los sustratos secundario y terciario respectivamente. En la relación atómica O:N (Tablas 3 y 4), se han obtenido resultados similares en *Palaemonetes varians* colectado durante el verano (34.2) y para las larvas de la langosta americana *Homarus americanus* (22.1 a 26.7); estos valores indicaron que estos animales también tuvieron un metabolismo oxidativo no proteico basado principalmente en el catabolismo de los carbohidratos y de los lípidos (Snow and Williams, 1971; Capuzzo y Lancaster, 1979).

Con la tasa de utilización del sustrato metabólico, que describe de manera cuantita-

the catabolism of the carbohydrates and the lipids (Snow and Williams, 1971; Capuzzo and Lancaster, 1979).

The rate of use of metabolic substrate also showed that the substrates that dominated the catabolism of macromolecules were the carbohydrates, followed by the lipids and in less amount by the proteins. It has been indicated that the Malaysian prawn *Macrobrachium rosenbergii* uses as primary source of energy the glucose circulating in the hemolymph, followed by the glycogen of the abdominal muscle and other polysaccharide reserves (Clifford and Brick, 1983).

Since both stages used carbohydrates as main energetic substrate to cover their metabolic requirements, it can be concluded that most of the proteins obtained from the Purina diet were channelled into growth: 80.76% and 86.67% for postlarvae and juveniles, respectively (Figs. 1 and 2). The values of these metabolic indices showed that both diets had a positive effect on the energy budget of the prawns, from which it is inferred that the organisms were in optimum stable physiological condition throughout the experiment.

Bioenergetic studies of commercially important aquatic organisms are important because through them it is possible to describe, explain and predict the physiological state or condition of the organisms, as well as to evaluate the effect of different diets on the growth of animals cultured in controlled conditions, without considering that in a natural environment they have access to other energetic sources.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Víctor Alvarez and Arnoldo Moreno for having donated the postlarval and juvenile prawns used in this study.

English translation by Christine Harris.

tiva la mezcla de sustratos oxidados, también se demuestra que los sustratos que dominaron el catabolismo de macromoléculas fueron los carbohidratos, seguidos por los lípidos y por las proteínas en menor proporción. Se ha señalado que el langostino malayo *Macrobrachium rosenbergii* utiliza como fuente primaria de energía a la glucosa circulante en la

hemolinfa, seguida por la movilización del glicógeno del músculo abdominal y de otras reservas de polisacáridos (Clifford y Brick, 1983).

Debido a que ambos estadios utilizaron los carbohidratos como el principal sustrato energético para cubrir sus requerimientos metabólicos, se puede concluir que el mayor porcentaje de las proteínas suministradas por la dieta Purina a través del alimento ingerido, fue canalizada hacia el campo de crecimiento: 80.76 y 86.67% para las postlarvas y los juveniles, respectivamente (Figs. 1 y 2). Los valores de estos índices metabólicos permiten concluir que ambas dietas tuvieron un efecto positivo sobre el balance de la energía de los langostinos, de lo cual se infiere que los organismos se encontraron durante todo el período experimental en un estado estable fisiológico óptimo.

La importancia que tienen los estudios bioenergéticos en los organismos acuáticos de interés comercial como el realizado con las postlarvas y los juveniles del langostino *Macrobrachium rosenbergii*, radica en que éste es un índice cuantitativo que permite describir, explicar y predecir la condición o estado fisiológico de los organismos, y también es un método útil para evaluar el efecto de diferentes dietas sobre el crecimiento de los animales cultivados en condiciones controladas, sin considerar que en el ambiente natural tienen la opción a otras fuentes energéticas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores dan las gracias a Víctor Alvarez y Arnoldo Moreno, por haber donado las postlarvas y los juveniles del langostino utilizados en este trabajo.

LITERATURA CITADA

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (1980). Official Methods of Analysis, 12th edition. Washington, D.C., USA, 1035 pp.
- Bligh, E.C. and Dyer, W.J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. Canadian J. of Biochemical Physiology, 37: 911-917.
- Brett, J.R. and Groves, T.D.D. (1979). Physiological energetics. In: W.S.D. Hoar, D.J. Randall and J.R. Brett (eds.), Fish Physiology. Vol. VIII. Bioenergetics and Growth. Academic Press, New York, USA, 289-352 pp.
- Brody, S. (1954). Bioenergetics and Growth. Reinhold Publ. Corp., New York, USA, pp. 307-313.
- Capuzzo, J.M. and Lancaster, B.A. (1979). Some physiological and biochemical considerations of larval development in the American lobster, *Homarus americanus*. J. Exp. Marine Biology and Ecology, 40: 53-62.
- Clifford, H.C. and Brick, R.W. (1978). Protein utilization in the freshwater shrimp *Macrobrachium rosenbergii*. Proc. World Mariculture Society, 9: 195-208.
- Clifford, H.C. and Brick, R.W. (1979). A physiological approach to the study of growth and bioenergetics in the freshwater shrimp *Macrobrachium rosenbergii*. Proc. World Mariculture Society, 10: 701-719.
- Clifford, H.C. and Brick, R.W. (1983). Nutritional physiology of the freshwater shrimp *Macrobrachium rosenbergii*. I. Substrate metabolism in fasting juvenile shrimp. Comparative Biochemistry and Physiology, 74A: 561-568.
- Curts, J. (1986). Regresión lineal resistente en biología. Biótica (en prensa).
- Dawirs, R.R. (1983). Respiration, energy balance and development during growth and starvation of *Carcinus maenas* larvae. J. Exp. Marine Biology and Ecology, 69: 105-128.
- Díaz-Herrera, F. (1989). Estudio ecofisiológico del langostino gigante *Macrobrachium rosenbergii*. Tesis Doctoral, UNAM, México, D.F., 105 pp.
- Díaz-Herrera, F., Pérez-Cruz, E., Juárez-Castro, G. y Bückle-Ramírez, L.F. (1992). Eficiencia de asimilación y de crecimiento de postlarvas y juveniles del langostino malayo *Macrobrachium rosenbergii* (De Man) alimentados con dos dietas balanceadas. Ciencias Marinas (aceptado).
- Einar, L. and Braaten, B. (1984). The effect of feeding and starving, and different ratios of protein energy to total energy in the feed on the excretion of ammonia in Atlantic cod *Gadus morhua*. Comparative Biochemistry and Physiology, 78A: 49-52.

- Elliot, J.M. and Davison, W. (1975). Energy equivalents of oxygen consumption in animal energetics. *Ecologia*, 19: 195-201.
- Gnaiger, E. (1983). Calculation of energetic and biochemical equivalents of respiratory oxygen consumption. In: E. Gnaiger and H. Forstner (eds.), *Polarographic Oxygen Sensors*. Springer, Berlin, pp. 337-345.
- Holtschmit, H.K. (1988). Manual técnico para el cultivo y engorda del langostino malayo. Fideicomiso Fondo Nacional para el Desarrollo Pesquero, 360 pp.
- Klekowski, R.Z. and Duncan, A. (1975). Physiological approach to ecological energetics. In: W. Grodzinski, R.Z. Klekowski and A. Duncan (eds.), *Methods for Ecological Bioenergetics*. I.B.P. Blackwell Scientific Publ., Oxford, pp. 15-66.
- Kurmaly, K., Yule, A.B. and Jones, D.A. (1989). An energy budget for the larvae of *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 81: 13-25.
- Levine, D.M. and Sulkin, S.D. (1979). Partitioning and utilization of energy during the larval development of the xanthid crab *Rhitropanopeus harrissi*. *J. Exp. Marine Biology and Ecology*, 40: 247-257.
- Ling, S.W. (1969). Methods of rearing and culturing *Macrobrachium rosenbergii*. *FAO Fisheries Rep.*, 57(3): 607-619.
- Logan, D.T. and Epifanio, C.E. (1978). A laboratory energy balance for the larvae and juveniles of the American lobster *Homarus americanus*. *Marine Biology*, 47: 381-389.
- Mootz, C.A. and Epifanio, C.E. (1974). An energy budget for *Menippe mercenaria* larvae fed *Artemia* nauplii. *Biological Bull.*, 146: 44-55.
- Mosteller, F. and Tuckey, J.W. (1977). *Data Analysis and Regression*. Addison-Wesley Publ. Co., Reading, Mass., USA, 588 pp.
- Nelson, S.G., Li, H.W. and Knight, A.W. (1977). Calorie, carbon and nitrogen metabolism of juvenile *Macrobrachium rosenbergii* with regard to trophic position. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 58A: 319-327.
- Nelson, S.G., Simmons, M.A. and Knight, A.W. (1985). Calorigenic effect of diet on the grass shrimp *Crangon franciscorum*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 82A(2): 373-376.
- Paloheimo, J.E. and Dickie, L.M. (1966). Food and growth of fishes. III. Relations among food, body size and growth efficiency. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 23: 1209-1248.
- Paul, A.J. and Fuji, A. (1989). Bioenergetics of the Alaskan crab *Chionectes bairdi*. *J. Crustacean Biology*, 9(1): 25-36.
- Rodier, J. (1981). *Análisis de las aguas*. Omega, Barcelona, 1056 pp.
- Sasaki, G.C., Capuzzo, J.M. and Biesiot, P. (1986). Nutritional and bionergetic consideration in the development of the American lobster *Homarus americanus*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 43: 2311-2319.
- Snow, N.B. and Williams, P.B. (1971). A simple method to determine the ratio O:N of small marine animals. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 51: 105-109.
- Stern, S., Borut, A. and Cohen, D. (1984). The effect of salinity and ion composition on oxygen consumption and nitrogen excretion of *Macrobrachium rosenbergii*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 79A(2): 271-274.
- Tuckey, J.W. (1977). *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley Publ. Co., Mass., USA, 688 pp.
- Velleman, P.F. and Hoaglin, D.C. (1981). *Application, Basics and Computing of Exploratory Data Analysis*. Duxbury Press, Boston, USA.
- Warren, C.E. and Davis, G.E. (1967). A laboratory study on the feeding, bioenergetics and growth of fishes. In: S.D. Gerking (ed.), *The Biological Basis of Fish Production*. Blackwell Scientific Publ., Oxford, pp. 279-352.
- Zar, J.H. (1974). *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall, London, 60 pp.