



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



**“BIOENERGÉTICA DE JUVENILES DE LA LANGOSTA AUSTRALIANA DE
QUELAS ROJAS *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1968) ALIMENTADOS A
LA TEMPERATURA PREFERIDA CON DOS DIETAS ARTIFICIALES”**



T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
O C E A N O L O G O

Presenta

Víctor Ernesto Meza Castillo

Ensenada, Baja California, Marzo del 2004

**“BIOENERGÉTICA DE JUVENILES DE LA LANGOSTA AUSTRALIANA DE
QUELAS ROJAS *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1968) ALIMENTADOS A LA
TEMPERATURA PREFERIDA CON DOS DIETAS ARTIFICIALES”**

T E S I S
QUE PRESENTA:

Víctor Ernesto Meza Castillo

Aprobada por:



Dr. Eugenio Díaz Iglesias

Presidente del Jurado



M.C. Antonio Silva Loera

Sinodal Propietario



M.C. Ana Denisse Re Araujo

Sinodal Propietario

RESUMEN de la Tesis del P. Ocean. **Víctor Ernesto Meza Castillo** presentada como requisito parcial para la obtención del **Título de Licenciatura en OCEANOLOGÍA**.
Ensenada, Baja California, México. Marzo del 2004.

BIOENERGÉTICA DE JUVENILES DE LA LANGOSTA AUSTRALIANA DE QUELAS ROJAS *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1968) ALIMENTADOS A LA TEMPERATURA PREFERIDA CON DOS DIETAS ARTIFICIALES

La langosta australiana de quelas rojas *Cherax quadricarinatus* ha despertado interés acuícola a nivel internacional en la última década, debido a su alta tasa de crecimiento y talla de cosecha. Con el objetivo de determinar el balance energético, se evaluó la respuesta metabólica en juveniles alimentados con dos dietas artificiales (Rangen con 35% de proteína y Cherax1 con 32% de proteína de sustrato vegetal), aclimatados a temperatura preferida de 28 °C en un respirómetro dinámico, midiéndose el consumo de oxígeno y la excreción amoniacal durante el ayuno y la alimentación. Se determinó la influencia sobre la supervivencia y el crecimiento. Se calcularon los índices bioenergéticos y la razón atómica O:N. Para ello se utilizaron 40 juveniles entre 3-5 g de peso inicial en cada tratamiento durante un período de 30 días. Ambas dietas tuvieron un efecto positivo sobre el balance de la energía de la langosta de quelas rojas. La energía se canalizó significativamente diferente ($P < 0.05$) en función de la dieta utilizada, salvo en la respiración (R) e incremento de calor aparente (ICA). La energía consumida por los juveniles en el alimento (C) fue de 3614.1 ± 591.3 y de 1967 ± 493.8 ($\text{J día}^{-1} \text{g}^{-1}$) con Cherax1 y Rangen respectivamente. La energía eliminada en las heces fecales (F) equivalente a 42.6 Joules por los organismos que se alimentaron con Cherax1, representó una baja pérdida de energía en la distribución porcentual, presentando una mayor eficiencia metabólica en comparación con la dieta Rangen. El mayor porcentaje de la proteína suministrada a través del alimento ingerido fue canalizado hacia el campo de crecimiento, ya que en los diferentes tratamientos los organismos utilizaron una mezcla de lípidos-proteínas como el principal sustrato energético para cubrir sus requerimientos metabólicos. Los juveniles alimentados con Cherax1 presentaron una mayor tasa de crecimiento específica y un incremento en peso ganado de 2.2 veces mayor, obteniéndose un mejor índice de rendimiento. Los resultados obtenidos demuestran que la dieta experimental Cherax1 puede ser considerada como un alimento balanceado derivado de productos vegetales de buena calidad y eficiencia para esta especie, siendo buen sustituto de diversas dietas comerciales.

Palabras clave: *Cherax quadricarinatus*, balance energético, respuesta metabólica, dietas artificiales, campo de crecimiento.

Dedicatoria:

**A mis Padres que tanto quiero
y agradezco haberme dado vida,
enseñanza y cariño:**

Gloria Castillo Ramírez

Por ser la más hermosa y mejor madre del mundo,
por heredarme tu gran fuerza para trabajar
y salir adelante, por ser mi vela encendida que
me mantiene visible cuando todo se me oscurece.

Víctor Ernesto Meza Chávez

Por ser el padre más noble y honesto del mundo,
por ser el guía en mi dedicación profesional
motivándome en cualquier momento.

A los dos por enseñarme a navegar en la vida, con un destino por alcanzar desafiando las
tempestades y sabiendo que aun tenemos un océano por recorrer.

**A mis Preciosas hermanas y hermano
a quien los quiero con todo el corazón y
que al lado de ellos mi vida ha sido muy feliz:**

Tania

Nadine

Leslia

Indira

Carlos

Daniela

AGRADECIMIENTOS:

Mis mas sinceros agradecimientos a mi respetable maestro y director de tesis Dr. Eugenio Díaz Iglesias, por haberme orientado, asesorado y apoyado en la realización de este trabajo y haber compartido momentos muy agradables en lo cotidiano y en lo profesional.

A los miembros de mi comité de tesis, mi maestra de Nutrición C. Dra. Ana Denise Re Araujo, mi maestro de Fisiología M.C Antonio Silva Loera por su apoyo, correcciones, comentarios y recomendaciones para el mejoramiento de este trabajo.

Al personal técnico del departamento de Acuicultura del CICESE por su cooperación en apoyo técnico y asesoría en algún tema particular, y muy especial a todo el grupo de bellas secretarias, al departamento de Acuicultura por la beca otorgada. A Lupita Morales, Dolores Sarracino, y a todo el personal de Biblioteca CICESE.

Así como a todo el personal de la Facultad de Ciencias Marinas, en especial a Mary y Rosario las mejores secretarias y al personal del edificio de Almacén Mily, Arturo, Manuel, epi, que me aguantaron durante el transcurso de mi carrera.

Un agradecimiento muy especial a todos mis maestros de la carrera, Roxana Rico, Lus López, Luis Aguilar, Pancho Aranda, Pinal, Moreno, Consuelo Valle, los Cheos, Walls, Kinini, Becerril, conchita, Tirza, Vicky Orozco, Larios, Che, R. Luna, Irma Soria, Pancho Ley, en fin a todos que compartieron sus grandes conocimientos y mostraron esa relación única de amistad entre maestro y alumno que solo existe en ciencias marinas.

Al Dr. Fernando Díaz Herrera, Dra. Beatriz Cordero, Dr. Buckle Ramírez, Dr. Benjamín Barón, Dr. Manuel Segovia, Dr. Manuel Acosta, Dra. Mónica, M.C Idalia Sandoval, Dra. Pilar Sánchez, en fin a todos los profesores del departamento de Acuicultura que han compartido sus enseñanzas conmigo.

Un especial agradecimiento a Gustavo Valdéz Sánchez que me auxilió durante el trabajo experimental y a mis compañeros de trabajo del departamento, Diana Arce, Miriam López, Zarina Medina, Carmen Álvarez, Karina Robles, Oscar Pérez, Nayelli, Edna, Arturo, Enrique (poli), Lupita, en fin a todos los que han compartido su amistad conmigo.

A mi Generación Nautilus y mi gran equipo Pólipos: A mis fieles hermanos Homy y Momo, Lizz, Beba, Noe (Jumanji), Aldo (Cerdo), Claudia (Camelia), Caborca, Keno, Cesar (velo) y Kena, Cristian (chancro), Isaac (chiquita), Víctor (jiwi), Lalo (Peludo) y Ale (peluda), Ivan (enano), Bobby, Hormiga, Diego (ñet), Elvis, pipó y su pandilla, Samy y Claudia, Eva, momito, Nayeli (preciosa), en fin a todos los que han compartido momentos de lo mas agradable durante el periodo de la carrera, a todos un placer conocerlos y recuerden que siempre seré su amigo.

En Mazatlán, a mis tíos, Benjamín, Leonardo, Humberto, José Ángel (Verdeño), Moisés, Sandra, Lus, Irma, Brenda, a mis primos Luis, Rubén, Jaime, José Ángel en fin a todos que son bastantes ahora con mis nuevos sobrinos hermosos y por supuesto a mi linda abuela querida Amelida que siempre me cocina mi frijol con hueso, además de los conejos y armadillos.

En Ensenada, a mi segunda madre Amalia Ángeles, a mis segundas tías Rosa, Sandra, Emilia, Pili y Don Luis, Ricardo, Oli y Anita, Tere, Gaby, Karla y la linda Joana, Claudia y Carlos, y a la diablita más hermosa Francheska, a todos gracias por su cariño y amistad.

Al equipo del Forastero y grupo de Inspectores Ambulantes: Mi hermano y compadre Lupillo (Pedro Gutiérrez), compita Gavilán (Enrique), Momo, Ornelas, chico George, Walli, Vaquero, y al jefe L1 Julio, gracias por los partidos y las pedas, de su amigo el compa Chalino (el Seco).

Gracias a todos: Víctor Ernesto Chanin, que los quiere y aprecia.

***“Nuestra vida será el camino donde
lo que hagamos en él con voluntad,
resonará en la Eternidad”***

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1.- OBJETIVOS	11
2. MATERIALES Y METODOS	12
2.1. Obtención y mantenimiento de los organismos	12
2.2. Temperatura preferida	12
2.3. Formulación y elaboración de la dieta experimental	13
2.4. Parámetros de la Ecuación del Balance Energético	13
Alimento consumido (C)	14
Producción de Heces (F)	14
2.5. Respuesta metabólica	15
Consumo de oxígeno de rutina (R) e Incremento de Calor Aparente (ICA)	15
Excreción amoniacal (U)	17
2.6. Campo de crecimiento (P) y Muda (M)	18
2.7. Razón oxígeno-nitrógeno (O:N)	19
2.8. Análisis estadístico	22
3. RESULTADOS	23
4. DISCUSIÓN	33
5. CONCLUSIONES	54
5.1. Recomendaciones	55
LITERATURA CITADA	56

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Esquema del sistema respirométrico utilizado para determinar el consumo de oxígeno y la excreción nitrogenada de los juveniles de <i>Cherax quadricarinatus</i> . Descrito por Díaz <i>et al.</i> (1989)	17
Figura 2. Crecimiento de juveniles de <i>Cherax quadricarinatus</i> alimentados dietas de diferente nivel de proteína en un periodo de 30 días a una temperatura preferida de 28 °C	26
Figura 3. Distribución de la energía porcentual del alimento consumido en los diferentes parámetros de la ecuación del balance energético de <i>Cherax quadricarinatus</i>	30
Figura 4. Razón atómica O:N de los juveniles de <i>Cherax quadricarinatus</i> Expuestos a las diferentes condiciones experimentales	32

LISTA DE TABLAS

Tabla I.	Composición proximal de las dietas balanceadas “Cherax1” y “Rangen®” proporcionadas a los juveniles de <i>Cherax quadricarinatus</i>	24
Tabla II.	Parámetros, índices biométricos y porcentaje de sobrevivencia de los juveniles de <i>Cherax quadricarinatus</i> empleados en los ensayos de bioenergética expuestos a 2 dietas artificiales	25
Tabla III.	Parámetros del balance energético de los juveniles de <i>Cherax quadricarinatus</i> aclimatados a temperatura constante y alimentados con dos dietas artificiales. Ingestión (C), Producción de heces (F), Metabolismo de rutina ®, Excreción amoniacal (U), Incremento de calor aparente (ICA), Energía potencial para crecimiento (P), Índice de eficiencia de conversión bruta (K1) e índice de eficiencia de conversión neta (K2)	27
Tabla IV.	Consumo de oxígeno (VO ₂) en ayuno, postalimentario e incremento de calor aparente de juveniles de <i>Cherax quadricarinatus</i>	31
Tabla V.	Comparación en crecimiento de <i>Cherax quadricarinatus</i> alimentados con dietas de diferente nivel de proteína.	37
Tabla VI.	Comparación en el Factor de Conversión Alimenticia (FCA) en <i>Cherax quadricarinatus</i> alimentados con dietas de diferente nivel proteína.	39
Tabla VII.	Comparación en los Parámetros del Balance Energético y distribución porcentual de <i>Cherax quadricarinatus</i> alimentados con diferentes dietas	48

BIOENERGÉTICA DE JUVENILES DE LA LANGOSTA AUSTRALIANA DE QUELAS ROJAS *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1968) ALIMENTADOS A LA TEMPERATURA PREFERIDA CON DOS DIETAS ARTIFICIALES

1. INTRODUCCIÓN.

En la acuicultura los estudios sobre la nutrición de organismos acuáticos son de gran importancia para el éxito de una alta producción, lo que ha orientado a realizar alimentos formulados efectivos dependiendo del conocimiento nutricional a nivel bioquímico y fisiológico de las especies a producir (Vega-Villasante *et al*, 1995). Los ensayos alimenticios se utilizan para medir el valor nutritivo que presentan las diversas dietas diseñadas artificialmente, el desarrollo de estos métodos implica, altos costos, consumo de tiempo y los resultados se ven afectados por los factores ambientales (Lan *et al.*, 1993; Lee *et al.*, 1980; Ezquerro *et al*, 1997).

La producción de crustáceos marinos y de agua dulce son los que poseen la más alta rentabilidad históricamente, llegándose a cultivar en muchos países; la producción de organismos acuáticos desempeña un papel fundamental en la alimentación de la población mundial y debido a la declinación de las pesquerías y la contaminación de los océanos, el cultivo de estos organismos se ha ido incrementando en las últimas décadas lo cual ha sostenido las demandas alimenticias de la población mundial (Morales Díaz, 1998).

Las especies de crustáceos decápodos con interés comercial presentan la distribución mundial con mayor diversidad en la franja intertropical tendiendo a reducirse hacia las regiones templadas y frías, estas especies acuáticas son altamente susceptibles de ser explotadas ya que son las que poseen la más alta rentabilidad, como ejemplo existen granjas de engorde de camarón y langostino que se encuentran diseminadas por

todo el mundo, siendo su desarrollo una de las actividades acuícolas más productivas (Arredondo-Figueroa *et al*, 1994).

Las langostas australianas de agua dulce pertenecientes a la familia Parastacidae se distribuyen únicamente en el Hemisferio Austral ubicándose en la región tropical del noreste de Australia en el Distrito de Queensland cercano a la parte del Golfo de Carpentenaria y al cabo York, en las costas al oeste del Golfo de Darwin y en el sureste de Nueva Guinea (Jones, 1990). Dentro del género *Cherax* existen muchas especies que se distribuyen en todo Australia excepto en Tasmania, localizándose en corrientes de zonas costeras bajas, en ríos interiores y cuerpos de agua como lagos y presas (Arredondo Figueroa *et al*, 1994). Muchas especies del género *Cherax* han recibido atención mundial desde que Frost en 1975 describió por primera vez su potencial para la Acuicultura (Anson y Rouse, 1996); sin embargo solo tres son de interés comercial: *Cherax destructor*, *Ch. tenuimanus* y *Ch. quadricarinatus*.

La langosta australiana *Cherax quadricarinatus*, comúnmente llamada de quelas rojas (ya que los machos presentan un parche de color rojo en el margen externo de las quelas ó pinzas) presenta el mejor potencial para el cultivo comercial y mercado internacional, ya que en sus principales características se incluye una tasa de crecimiento rápido, desoves múltiples anuales, un comportamiento poco agresivo, tolerancia a condiciones ambientales subóptimas, y gran potencial para alcanzar altos precios de mercado (Medley *et al*, 1994; Gu *et al*, 1995; Meade y Watts, 1995; Rouse, 1995) debido a sus características biológicas y su importancia en los cultivos, ha sido introducida en países del sudeste de Asia, África, Norteamérica y el Caribe, dadas en México las condiciones ambientales adecuadas se ha contemplado la introducción de esta especie

como un buen recurso acuicultural por su rápido crecimiento, capacidad de tolerancia de condiciones ambientales debajo de sus óptimas y gran potencial para que esta especie sea explotada a escala comercial (Arredondo-Figueroa *et al*, 1994).

En la actualidad a pesar del gran potencial acuicultural que presenta esta especie, existe una discrepancia entre el potencial y la producción que se ha obtenido en los países que se han dedicado a su cultivo, esto refleja que a escala comercial, la producción acuicultural de *Ch. quadricarinatus* se ha limitado por la falta de investigación, y particularmente, por la necesidad de realizar estudios enfocados hacia la fisiología y nutrición, digestibilidad de nutrientes y requerimientos dietéticos de esta especie, como consecuencia la formulación de dietas para estos animales esta poco desarrollada, además del mejoramiento de las técnicas aplicadas para su cultivo (Morrisy *et al*, 1990; Jones y Ruscoe 1996; Jones y De Silva, 1997).

A la fecha, la producción de *Cherax* en México ha sido limitada, obteniéndose un promedio de 15 toneladas en el 2000 (Zertuche, 2000) en Cortés *et al.*, (2002). Aunque el desarrollo es incipiente, una de las limitaciones importantes para el éxito del cultivo comercial de *Ch. quadricarinatus* ha sido la falta de información apropiada en los aspectos nutricionales y las prácticas alimentarias de la especie.

En la producción de juveniles de langostas de quelas rojas el uso de alimento formulado representa una mejor alternativa ya que la composición de los piensos dietéticos deben estar ajustadas a las demandas nutricionales de las especies obteniendo un rápido crecimiento, las langostas australianas de quelas rojas consumen una proporción mas elevada de materia vegetal que las langostas marinas, bogavantes, gambas, langostinos y la gran mayoría de camarones, la investigación realizada desde

1980 sugiere la naturaleza <<esencial>> de ciertos micronutrientes, en particular del colesterol y ciertos ácidos grasos que los crustáceos ó no tienen ó solo poseen una capacidad limitada para sintetizarlos y de gran importancia las proporciones en que estén presentes las proteínas, lípidos, carbohidratos y algunas sustancias esenciales como vitaminas y minerales (Lee y Wickins, 1992).

Los requerimientos nutricionales estimados de proteína para las langostas se encuentran entre el 15 y 45% de la dieta, variando de acuerdo con la edad; en la etapa juvenil se consume en mayor proporción proteína de origen animal y en la fase juvenil a adulta los requerimientos son de origen vegetal en mayor abundancia, las langostas requieren de carbohidratos y grasas como fuentes de energía. El colesterol, es la base en la síntesis de varios esteroides vitales de los organismos dicho compuesto no puede ser sintetizado por el organismo por lo que debe incluirse en la dieta en una concentración no mayor de 0.5% (Kondos, 1990). A pesar de estos conocimientos las investigaciones en la langosta de quelas rojas enfocadas al conocimiento de su fisiología y nutrición, así como los procesos de alimentación son escasas. Esto ha limitado el desarrollo del cultivo de esta especie a nivel comercial (Anson y Rouse, 1996). Las dietas de los crustáceos deben ser físicamente estables en el agua para evitar la desintegración prematura durante la manipulación repetida de los animales sobre el alimento. Se usan agentes aglutinantes tales como algunos glútenes, almidones o gomas, mientras que las técnicas de fabricación que utilizan calor tienden a gelatinizar los almidones naturales e incrementar la capacidad de unión (New, 1987) en Lee y Wickins, (1992).

La actividad metabólica en los poiquiloterms como *Cherax* se relaciona a los animales que tienen una temperatura corporal relativamente variable ya que no cuentan con una capacidad reguladora térmica, estos tienen sus ventajas pues no necesitan de energía para mantenerse a cierta temperatura mientras que los homeoterms tienen un gasto constante de energía con tal fin, sin embargo esta capacidad de aumentar ó disminuir su temperatura corporal tiene límites, llegada a cierta temperatura el animal comienza a tener un comportamiento alto de estrés, esta temperatura, tanto en su límite inferior como el superior se conoce como temperatura crítica, en el extremo superior el animal muere por un aumento excesivo del metabolismo por desnaturalización de las proteínas e inactivación de enzimas y las células lesionadas liberan sustancias tóxicas (Prosser & Brown, 1968).

La langosta australiana de quelas rojas presenta altas tasas de crecimiento entre los 24 y 32 °C, sus límites letales se encuentran por debajo de los 10 °C y por arriba de los 35 °C, con un óptimo entre 27 a 30 °C. (Arredondo Figueroa *et al*, 1994). La determinación de la temperatura óptima es de gran importancia para el crecimiento y actividad metabólica (Vondracek *et al*, 1982). Morrissy *et al*. (1990), encontraron que el crecimiento máximo en *Cherax quadricarinatus* se obtuvo a los 27 °C, mientras que a 20 °C se cuantificó un crecimiento bajo y al exponer a los organismos a 34 °C se registró el mínimo crecimiento, presentándose una mortalidad del 50% de los organismos debido a un largo periodo de prueba con dicha temperatura que esta cercana a la letal incipiente. Se ha determinado un óptimo de crecimiento a 28 ± 1 °C para esta especie (Amador Cano; Escalante, G. 2001), sin embargo, ninguno de los estudios anteriores establece una relación directa entre la temperatura óptima y su campo de crecimiento

(Morrissey *et al.*, 1990; Webster *et al.*, 1994; Meade y Watts, 1995; Anson y Rouse, 1996).

La temperatura es uno de los principales factores que modifican el metabolismo animal ya que afecta profundamente las velocidades de reacción química y porque la mayoría de las respuestas de los organismos incluyen reacciones químicas (Gordon, 1982). La temperatura preferida u óptima representa el intervalo de temperatura en donde los organismos pasan más tiempo y con la cuál se obtiene un mayor crecimiento, lográndose que la mayor parte de las funciones fisiológicas se realicen con la mejor eficiencia posible, este intervalo puede ser estrecho ó amplio dependiendo de la especie y puede ser afectado por las condiciones ambientales y antropogénicas (Lagerspetz, 1974; Reynolds y Casterlin, 1979).

La temperatura limita la distribución de los animales y al mismo tiempo restringe su índice de actividad actuando en procesos importantes como la regulación del crecimiento y el metabolismo. La temperatura de un animal depende del equilibrio de los factores que tienden a agregar calor y factores que tienden a quitarlo. Este calor puede obtenerse por producción metabólica y por absorción del mismo (Prosser & Brown, 1968).

La tasa metabólica de rutina, se refiere a la tasa de consumo de oxígeno medida durante la mínima actividad locomotora controlada (que es la energía empleada en la actividad normal del organismo), se puede considerar, que el consumo de oxígeno de un organismo se encuentra influenciado por la actividad y el estado de alimentación como factores biológicos y por la temperatura, presión osmótica, fotoperíodo, presión parcial de oxígeno disuelto en el medio así como factores abióticos (Prosser & Brown, 1968).

La bioenergética de organismos heterotróficos como las langostas de quelas rojas es necesaria para conocer la eficiencia metabólica, necesidades energéticas, asimilación y transferencia de la energía obtenida en el alimento consumido (Lucas, 1996), siendo la ecuación del balance energético propuesta por Klekowski & Duncan (1975), la cuál describe el flujo de energía de los organismos; Nelson *et al.*, (1985) incorpora el costo energético asociado con la digestión y utilización del alimento, el cuál proporciona un incremento en la tasa metabólica debido a los procesos de ingestión, asimilación, transporte, tratamiento bioquímico e incorporación del alimento, este factor se conoce como incremento de calor aparente ICA.

La expresión que describe el balance energético de un organismo es:

$$C = P + R + F + U + ICA \quad (1)$$

En donde:

C = es la energía ingerida en el alimento.

P = es la energía destinada al crecimiento y reproducción de los organismos ó producción.

R = es la energía destinada a los procesos de respiración.

F = es la energía eliminada en las heces fecales.

U = es la energía excretada a través de la orina.

ICA = es el costo energético asociado a los procesos de captura, trituración, digestión y asimilación del alimento medido a través del incremento en la tasa metabólica.

En la acuicultura la bioenergética de organismos heterotróficos (como las langostas de quelas rojas) es de gran utilidad ya que permite la optimización de las raciones alimentarias que proveen niveles adecuados de energía para cubrir los procesos

básicos del organismo así como la incorporación de proteína para la síntesis de tejido (Villarreal 1991). En otro estudio Momot (1984), concluye que especies con requerimientos metabólicos bajos generalmente utilizan menor cantidad de alimento para completar su ciclo de vida como resultado de sus tasas de crecimiento superiores, por lo que pueden soportar altos niveles de remoción de medio ambientes ricos en energía. Hutchings y Villareal (1996) mencionan que esta característica ha permitido a *Cherax* explotar eficientemente diferentes ecosistemas.

Los estudios que se han realizado en el campo de la bioenergética para diversos crustáceos decápodos han tenido importantes resultados. Díaz Herrera *et al*, (1992) encontraron para *Macrobrachium rosenbergii* que al ser alimentado con dos dietas (Bovilac y Purina), la tasa de crecimiento de los organismos que se les suministró Bovilac disminuyó con respecto a los alimentados con Purina, sin embargo, resultó un buen avance ya que en ambos casos el campo de crecimiento fue positivo, se investigó la tasa de utilización del sustrato metabólico obteniéndose que los carbohidratos fueron los que tuvieron el mayor porcentaje de uso, seguido de lípidos y proteínas.

Villarreal (1991) encontró para *Cherax tenuimanus* al utilizar una dieta con proteína cruda, que la energía transformada ó canalizada al crecimiento en estos organismos al ser alimentados con una dieta con un 48% de contenido proteico fue de 1.6 veces mayor que a los que se les proporcionó dietas con 17 y 33% de proteína cruda. Barón Sevilla *et al*. (1994) encontraron al alimentar a *Procambarus clarkii* con cuatro dietas formuladas en cuatro niveles de proteína (20, 25, 30 y 35%), que los valores mas altos del campo de crecimiento de *P. clarkii* fueron obtenidos en los organismos alimentados con las dietas de 25 y 30% de contenido proteico. Se han realizado otros

estudios sobre bioenergética en acociles llevándose a cabo con ablación unilateral del pedúnculo ocular. Sierra Uribe *et al.* (1997), encontraron que en *Procambarus clarkii* la aplicación de la ablación propicio que una mayor cantidad de energía se dirigiera hacia el campo de crecimiento, en otro estudio Sierra y Díaz (1999) obtuvieron que la energía se derivara hacia el campo de crecimiento mayoritariamente para las postlarvas y juveniles de *M. rosenbergii* que se les practicó ablación. Díaz-Iglesias *et al.* (2002) evaluó la bioenergética de alimentos naturales y artificiales sobre la alimentación de juveniles de langosta espinosa *Panulirus argus*, determinan que al utilizar una dieta artificial de 45% de proteína y el uso de erizos el aporte de proteína para el metabolismo es mayor seguido de una dieta de 25% proteína y quitones. Escalante (2001) reportó para juveniles de *Ch. quadricarinatus* alimentados con dieta artificial Rangen para camarón 35% proteína y expuestos a régimen fluctuante de 25–28 °C presentaron un mayor aporte de energía derivado hacia el crecimiento comparado con el presentado por los organismos alimentados con dieta Purina para peces con 32% en las diferentes condiciones experimentales.

El desarrollo de estudios relacionados con la alimentación de crustáceos ha tenido gran relevancia y en mayor importancia la elaboración de dietas para los acociles que son potencialmente importantes para cultivo como lo es *Ch. quadricarinatus*. Cortés *et al.* (2002) evaluó la frecuencia de alimentación para *Ch. quadricarinatus* sus resultados sugieren que al alimentarse en 3 y 4 ocasiones diarias se maximiza el desarrollo de los organismos, sin embargo, la razón 4 veces por día incrementa la biomasa total. Thompson *et al.* (2003) para esta misma especie de acocil, sugieren que una dieta conteniendo 25% de harina de pescado, 4.5% harina de soya, 2% de aceite de hígado de

bacalao y 1% de aceite de maíz pueden satisfacer los requerimientos de lecitina y colesterol lo que representa un menor gasto en la formulación de dietas alimentarias.

La ingestión de sustratos vegetales promueve el consumo de mayor cantidad y variedad de alimentos, lo que propicia una mejor eficiencia de asimilación (Calow, 1977), un promedio de 85% de eficiencia de asimilación representa un nivel esperado para un omnívoro (Kossakowski, 1975; Momot, 1984).

Clifford y Brick (1979) mencionan la necesidad de identificar y optimizar los parámetros ambientales y nutrimentales que pueden aumentar la tasa de crecimiento de organismos cultivados. Las investigaciones realizadas con alimentos balanceados tienen como objetivo principal el definir la dieta mas apropiada con el fin de incrementar el crecimiento de las especies cultivadas a escala experimental ó comercial.

La razón atómica oxígeno-consumido y nitrógeno-excretado (O:N) por los organismos se representa como el índice que permite determinar cuál es el sustrato metabólico utilizado como fuente principal de energía para cubrir los requerimientos metabólicos de los organismos (Conover y Corner, 1968). Valores de 3 a 16 indicaran oxidación de proteínas, de 16 a 25 se considerará utilización de una mezcla de lípidos y proteínas y de 25 a 60 indican catabolismo de lípidos y carbohidratos y por último valores superiores a 60 señalaran empleo de carbohidratos (Mayzaud y Conover, 1988).

HIPÓTESIS

Atendiendo a la estrategia alimentaria de esta especie se preveé una canalización mas eficiente de la energía hacia el crecimiento con la dieta experimental Cherax1 que con la dieta comercial Rangen® para camarón.

1.1 OBJETIVOS

- Evaluar la respuesta metabólica y determinar el balance energético de los juveniles de *Cherax quadricarinatus* alimentado con las dietas artificiales Cherax1 (32% proteína) y Rangen® p/ camarón (35% proteína) a la temperatura preferida.
- Estimar el sustrato metabólico utilizado por *Cherax quadricarinatus* en las diferentes condiciones experimentales mediante la determinación de la razón atómica oxígeno: nitrógeno (O:N).
- Estimar la tasa de crecimiento diaria con ambos tipos de alimento artificial.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Obtención y mantenimiento de los organismos

Los organismos juveniles de *Cherax quadricarinatus* fueron obtenidos de una granja de cultivo comercial de langosta de agua dulce “El Jicarero”, ubicada en Cuernavaca, Morelos los cuales fueron transportados en cajas de polietileno al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) dirigidos al laboratorio de Ecofisiología en el Departamento de Acuicultura. Los organismos se mantuvieron en estanques ovalados de 2000 litros al exterior, a la temperatura preferida de 28 ± 1 °C la cuál se mantuvo mediante calentadores sumergibles conectados a termostatos, con sistema de flujo abierto, provistos con aireación constante y conectada a un filtro biológico, en los estanques se colocaron refugios los cuales fueron diseñados de tubos de ABS (negro) de 10 cm de largo y con un diámetro de 1 ½ pulgadas sujetadas en grupo con piola de seda, esto con el fin de evitar el canibalismo. A los organismos se les proporcionó alimento comercial Rangen 2 raciones al día en una proporción del 10% del peso húmedo hasta que alcanzaron la talla de juvenil.

2.2. Temperatura Preferida

La temperatura fija fue de 28 °C que es la que corresponde a la temperatura preferida para la especie de *Ch. quadricarinatus* determinada por Amador Cano (2001). Esta se mantuvo constante mediante calentadores sumergibles de 1000 Watts conectados a dispositivos reguladores colocados en los estanques circulares de 500 L provistos de un termómetro digital.

2.3. Formulación y fabricación de la dieta experimental (Cherax1)

En el presente estudio se elaboró la dieta compuesta experimental Cherax1 formulada obteniendo el análisis bromatológico con la ayuda del paquete MIXIT-Win 95/98/NT/2000 © 1995-2001 Agricultural Software Consultants, Inc. y se fabricó mediante un tratamiento de secado, extrusión y peletización según el método descrito por Re-Araujo D y Acosta R. M. (2003). *en prensa*.

Los ingredientes como la dieta elaborada se analizaron para conocer su composición proximal y contenido calórico de acuerdo a los métodos descritos mas adelante. Debido a que es imprescindible conocer la digestibilidad de los ingredientes se realizó una evaluación de las diversas fuentes de proteína, lípidos y carbohidratos de origen vegetal, de acuerdo a la disponibilidad de ingredientes la dieta se formuló con los siguientes insumos: Harina de trigo, harina de pescado, pasta de soya, gluten de trigo, lecitina liquida, aceite de soya, vitamina C, mezcla vitamínica liquida Omniplus miscelado, spirulina y zanahoria (*Daucus caarota*) como sustrato vegetal.

2.4. Parámetros de la ecuación del balance energético

Para determinar la distribución de energía que un organismo utiliza para cubrir sus requerimientos energéticos en los diversos factores de producción de energía, se realiza un balance energético.

La ecuación del balance energético es: $C = P + R + F + U + M + ICA$

Alimento consumido (C)

Se suministró la ración diaria de alimento y se dejó durante 2 horas en los recipientes que contenían a los organismos en una ración equivalente al 10% de su peso húmedo corporal, en cada tratamiento a los organismos se le suministró la dieta Camaronina de Rangen con 35% de proteína y la dieta experimental Cherax1 con un nivel de 32% de proteína respectivamente, cada alimento fue proporcionado diariamente a los organismos durante un periodo de 30 días.

Pasado el periodo de 2 horas, el alimento remanente fue retirado de cada cubeta por succión con tubo de pvc flexible que se recolectó con una malla de 80 μm en el extremo distal del mismo, posteriormente este remanente se colocó en una estufa a 60 °C obteniéndose su peso seco, el alimento consumido por los organismos se determinó mediante el método gravimétrico de la diferencia entre el alimento suministrado y el remanente.

Producción de Heces (F)

Las heces se recolectaron diariamente de forma individual de las cubetas que contenían a los organismos después de transcurrido 8 horas de recoger el alimento remanente y al día siguiente antes de dar el alimento a los organismos, lo cuál se utilizó la misma técnica empleada en la recolección del alimento remanente, se obtuvo el peso seco para determinar las heces producidas y se colocaron en un refrigerador para su mantenimiento hasta realizar la determinación del contenido calórico.

2.5. Respuesta metabólica (R)

Al término del periodo experimental donde se determinó el alimento ingerido y la producción de heces durante los 30 días, se analizó la respuesta metabólica, se colocaron los organismos en el sistema un día antes de comenzar las mediciones permitiendo su aclimatación al sistema, donde se colocaron los organismos de forma individual en matraces de 1 L conectados a un sistema respirométrico semiabierto como el descrito por Díaz H. (1989) (Figura 1), el cuál permitió medir el consumo de oxígeno de rutina y la excreción amoniacal en organismos que se mantuvieron en ayuno durante 48 horas, así como el incremento de calor aparente en los organismos recién alimentados, con el fin de obtener resultados más efectivos se colocaron durante la fase experimental 2 matraces control que no contenían organismos, esto con el fin de medir el consumo de oxígeno y la probable producción de amonio de los microorganismos que estuvieran presentes en el sistema descrito.

Consumo de oxígeno de rutina (R) e Incremento de Calor Aparente (ICA)

Ambos componentes fueron medidos al finalizar el ensayo para la determinación de alimento ingerido y producción de heces. Los organismos se colocaron en un sistema respirométrico para cada una de las condiciones experimentales (Figura 1). En el sistema se colocaron de manera individual 20 organismos en matraces de 2.8 litros, así como un matraz sin organismos para la determinación del consumo de oxígeno por parte de los microorganismos con lo que se realizaron las correcciones pertinentes. Las langostas fueron colocadas en el respirómetro un día antes de comenzar las mediciones para permitir su aclimatación al sistema.

El oxígeno disuelto en las cámaras se midió con un oxímetro YSI 52 equipado con un sensor polarográfico, en organismos al iniciar la alimentación y en organismos con un día de ayuno. En el caso de los primeros, se alimento a los organismos durante 2 horas simulando la fase de recolecta de alimento y heces, después de las cuales se les retiro el alimento no consumido y se tomó una muestra inicial de agua para medir la concentración de oxígeno disuelto. Una vez efectuado lo anterior, se eliminó el flujo de agua de los matraces y se dejo así durante 2 horas después de las cuales se tomó una muestra final. Hecho lo anterior, se abrió de nueva cuenta el flujo de agua a través de los matraces para recambiar el agua; esta operación se repitió durante 8 horas. Al día siguiente, se realizó el mismo procedimiento a la misma hora a la cuál fueron alimentados el día anterior. La diferencia entre las concentraciones inicial y final de oxígeno se consideró como el consumo de oxígeno de los organismos, el cuál se expresa como miligramos de O_2 consumido por $gramo^{-1}$ por $hora^{-1}$. El consumo de oxígeno ó respiración (R) se determinó a partir del consumo de oxígeno de los organismos en ayuno.

Para la determinación del incremento de calor aparente (ICA), se calculó como la diferencia entre el máximo consumo de oxígeno de los organismos alimentados y del consumo de oxígeno de los organismos sin alimentar durante el periodo de 48 horas (Beamish y Trippel, 1990). Al término del experimento respirométrico los organismos se pesaron obteniendo su peso húmedo, se sacrificaron, se etiquetaron, y se colocaron en una estufa a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ para posteriormente obtener su peso seco.

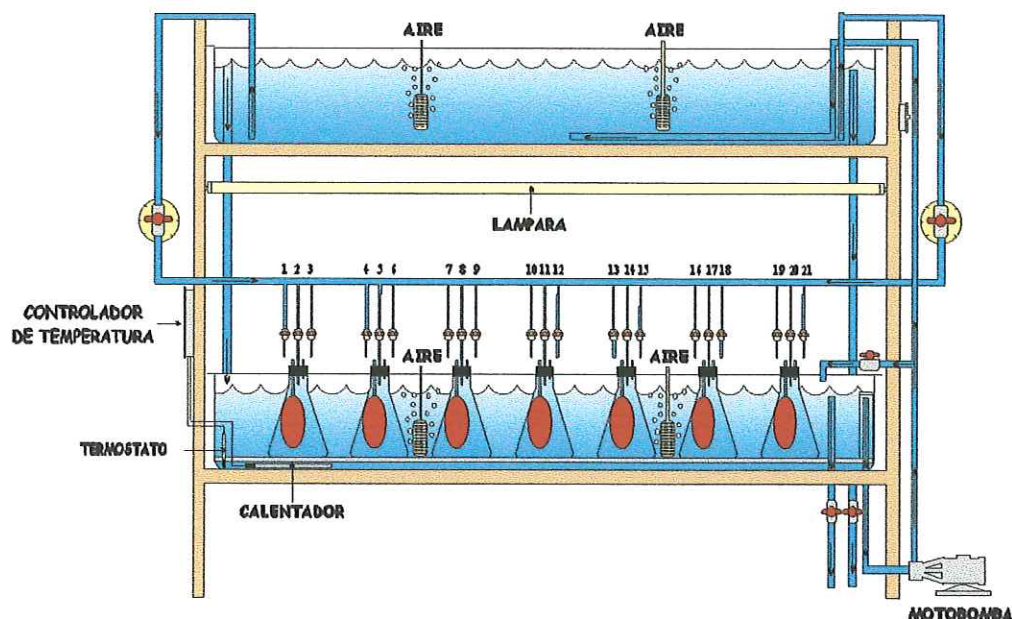


Figura 1. Esquema del sistema respirométrico utilizado para determinar el consumo de oxígeno y la excreción nitrogenada de los juveniles de *Cherax quadricarinatus*.

Excreción amoniacal (U)

La medición de la excreción amoniacal de los organismos, se realizó de manera simultánea a la determinación de consumo de oxígeno en el mismo sistema respirométrico, tomándose muestras iniciales y finales de 10 ml de agua de cada uno de los matraces, incluyendo los matraces sin organismos donde se determinó la producción de amoníaco de los microorganismos presentes en el agua del sistema.

La determinación de la concentración amoniacal de las muestras se estimó con el método de azul de indofenol descrito por Rodier (1981), empleando un espectrofotómetro ELIPTICA 2000 en donde la intensidad del color de la muestra, leído a una longitud de onda de 640 nm es directamente proporcional a la concentración de amoníaco la cuál se expresó en $\text{mg NH}_3^+ \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ p.s.}$

2.6. Campo de crecimiento (P) y Muda (M)

A los organismos alimentados con las dos dietas expuestos a la temperatura preferida se les calculó el campo de crecimiento, el cuál se estimó como la diferencia entre la energía del alimento consumido y la suma de la energía utilizada en la producción de heces, excreción amoniacal, consumo de oxígeno-respiración e incremento aparente de calor y mudas.

El crecimiento (P) se describe de la forma siguiente:

$C = P + R + F + U + M$ esto es: la Ingestión = Energía transformada + Eliminada

Por lo tanto: $P = C - [R + F + U + M]$

Las mudas que presentaron los organismos se recolectaron durante todo el periodo experimental, las cuales se pesaron para obtener su peso húmedo, se etiquetaron y se colocaron en estufa a 60 °C durante 24 horas obteniendo su peso seco y se mantuvieron en condiciones necesarias para su análisis calorimétrico.

Análisis calóricos

Para la determinación del contenido calórico de las muestras obtenidas tanto del alimento suministrado a los organismos, las heces y las mudas durante la fase experimental, se utilizó una micro bomba calorimétrica PARR previamente calibrada con ácido benzoico, realizándose repeticiones para cada muestra.

Unidades de energía

El consumo de oxígeno de rutina (R) así como el incremento de calor aparente (ICA) fueron transformados a unidades de energía utilizando el equivalente oxicalórico de 3.53 cal mg⁻¹ de oxígeno consumido (Elliot y Davison, 1975). Los valores de

excreción amoniacal se transformaron a energía empleando el equivalente nitro-calórico de 5.73 calorías por gramo de amoniaco excretado (Clifford y Brick, 1979), el consumo de oxígeno, el incremento de calor aparente, excreción amoniacal, alimento ingerido, producción de heces y mudas, se transformaron a Joules utilizando el factor de conversión de 1 caloría equivalente a 4.1840 Joules (Gnaiger, 1983).

2.7. Razón oxígeno-nitrógeno (O:N)

Para obtener este índice ó razón se estimó mediante los valores de consumo de oxígeno y excreción de amonio obtenidos en el sistema respirométrico. Las tasas fisiológicas determinadas en ambos ensayos experimentales fueron transformadas a átomos-gramo para el cálculo de la razón O:N (donde $1 \text{ mg O}_2 = 62.5 \text{ } \mu\text{g-atomo O}_2$ y $1 \text{ mg N} = 48.47 \text{ } \mu\text{g-atomo de N}$), utilizando los principios de la termoquímica respiratoria. Con ello, se estimaron las cantidades relativas de lípidos, carbohidratos y proteínas oxidadas que son utilizadas como fuente energética por los organismos juveniles de langostas de quelas rojas durante la fase experimental en las diferentes condiciones de exposición.

La razón atómica oxígeno-consumido y nitrógeno-excretado (O:N) por los organismos se representa como el índice que permite determinar cuál es el sustrato metabólico utilizado como fuente principal de energía para cubrir los requerimientos metabólicos de los organismos (Conover & Corner, 1968)

Índices de eficiencia de conversión

El índice de eficiencia de conversión bruta (K_1) y el índice de conversión neta (K_2) utilizadas para los organismos mantenidos en las diferentes condiciones experimentales fueron las propuestas por Klekowski & Duncan (1975) y se estimaron de la forma siguiente:

$$K_1 = [(P + E) / C] \times 100 \qquad K_2 = [(P + E) / (C - F)] \times 100$$

Donde:

K_1 = índice de eficiencia de conversión bruta

K_2 = índice de eficiencia de conversión neta

P = energía destinada a formación de biomasa

E = energía invertida en tejido eliminado (proceso de muda)

C = energía obtenida en el alimento consumido

F = energía gastada en la producción de heces

Tasa de Crecimiento Especifica (TCE)

La tasa de crecimiento específica se denota como el crecimiento promedio por día:

$$TCE = \frac{\ln P_t - \ln P_i}{t} \times 100$$

Donde, $\ln P_t$ es el logaritmo natural del peso a un tiempo t y $\ln P_i$ es el logaritmo natural del peso inicial.

Factor de conversión aparente del Alimento (FCA):

$$\text{FCA} = \frac{\text{Alimento suministrado (g)}}{\text{Incremento en peso (g)}}$$

Sobrevivencia

$$\% \text{ Sobrevivencia} = \frac{\text{N}^\circ \text{ final de organismos}}{\text{N}^\circ \text{ inicial de organismos}} \times 100$$

Índice de Rendimiento (IR)

Este índice propuesto por Díaz-Iglesias *et al.*, (1991), respecto al crecimiento, supervivencia y el rendimiento obtenidos de forma experimental, con la finalidad de facilitar la interpretación y comparación de los resultados. El índice de rendimiento (IR) ó incremento relativo de la biomasa según el periodo de tiempo transcurrido en experimentación para los organismos juveniles de *Ch. quadricarinatus* se define de la forma siguiente:

$$\text{IR} = \left[\frac{(\overline{P}_{\text{Fin}} \times n) - (\overline{P}_{\text{Ini}} \times n)}{(\overline{P}_{\text{Ini}} \times n)} \right] \times 100 \times 1/T$$

En donde:

$\overline{P}_{\text{Fin}}$ = promedio del peso final de los organismos.

$\overline{P}_{\text{Ini}}$ = promedio del peso inicial de los organismos.

n = numero de organismos.

T = tiempo transcurrido en días.

2.8. Análisis estadístico (Diseño experimental)

Se seleccionaron de forma aleatoria 80 juveniles de *Cherax quadricarinatus* que se marcaron y se distribuyeron de forma individual en cubetas de plástico las cuales se colocaron en cuatro estanques circulares de 500 L colocándose 20 organismos por estanque, los tratamientos consistieron en dos dietas alimentarias con 32% y 35% de contenido de proteína y un contenido similar de energía (Tabla I). Cada una de ellas se suministró a dos lotes de organismos, cada lote recibió la dieta correspondiente durante 30 días, los organismos de cada estanque se mantuvieron con aireación y un flujo constante de agua dulce y se mantuvieron en un régimen de temperatura fija de 28 °C.

Los datos que se obtuvieron durante el periodo experimental de los diferentes parámetros de la ecuación del balance energético medidos en las langostas de agua dulce se les aplicó un análisis estadístico, el cuál se basó en métodos paramétricos, teniendo en cuenta que los valores obtenidos se ajustaron a una distribución normal y homogeneidad de varianza al aplicarse las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Bartlett, aplicándose el método de comparaciones con dos muestras usando una prueba t de student, en casos que no se cumplieron con estas premisas se aplicaron pruebas no paramétricas de Mann-Whitney (Zar, 1999). Para ello se utilizaron los paquetes estadísticos, Sigma Stat (Jandel corporation statistical software 1.01) y SigmaPlot (Science 8.02). Para los cálculos primarios y gráficas se utilizó el programa Microsoft Office XP Excel 2000.

3. RESULTADOS

La temperatura a la que los juveniles de *Cherax quadricarinatus* fueron mantenidos durante el periodo de experimentación fue de 28° C, que corresponde a la temperatura preferida u óptima determinada para esta especie (Amador Cano, 2001).

En la tabla II se presentan los parámetros e índices biométricos que indican el desempeño fisiológico de las langostas de quelas rojas en los experimentos de bioenergética.

Los organismos que estuvieron sometidos a la dieta artificial Rangen (35% de proteína) tuvieron una tasa de crecimiento promedio diario de 0.81 ± 0.2 y un intervalo de muda de 22 días. Estos organismos alcanzaron un peso húmedo final de 4.48 ± 0.37 g presentando un incremento en peso húmedo promedio de 1.1 ± 0.38 g y un peso seco de 1.13 ± 0.10 g (Figura 2). El índice de rendimiento mostrado por este grupo al exponerse a esta dieta fue de 0.43 g día^{-1} .

Por otro lado los organismos que se sometieron a la dieta artificial Cherax1 (32% de proteína) presentaron una tasa de crecimiento específica de 0.91 ± 0.18 y un intervalo de muda de 21 días. Al final del ensayo experimental los organismos sometidos a esta dieta tuvieron un peso húmedo final de 8.33 ± 0.64 g con un incremento en peso húmedo promedio de 2.44 ± 0.55 g y un peso seco de 1.70 ± 0.25 g presentando un índice de rendimiento para este grupo de organismos de 0.53 g día^{-1} (Figura 2) indicando la eficiencia de la especie para utilizar los nutrientes de la dieta siendo que esta produjo FCA menor (2.7 ± 0.95) y un mayor crecimiento comparado con la dieta Rangen con un FCA de (3.53 ± 1.49).

Tabla I. Composición proximal de las dietas balanceadas “Rangen®” y “Cherax1” suministradas a los juveniles de *Cherax quadricarinatus*.

CONTENIDO (Nivel %)	CHERAX1	RANGEN
Proteínas	32	35
Lípidos	6.9	8
Carbohidratos	29.3	30
Fibra	2.3	5
Ceniza	4	10
Humedad	18.5	12
Energía (J g ⁻¹)	20455.8	19214.6
Fósforo	6.4	0.9
Calcio	4.3	1.4

Información sobre dieta Cherax1, comunicación personal con C. Dra. Denisse Re-Araujo.

El peso húmedo inicial y final así como el peso seco e incremento en peso húmedo de los organismos mantenidos en las dos condiciones experimentales durante la fase experimental mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$), mostrando un mayor incremento en peso por parte de los organismos alimentados con la dieta Cherax1 con respecto a los organismos alimentados con la dieta Rangen (Tabla II).

Tabla II. Parámetros, índices biométricos y porcentaje de sobrevivencia de los juveniles de *Cherax quadricarinatus* empleados en los ensayos de bioenergética expuestos a 2 dietas artificiales.

	35 % Proteína	32 % Proteína
	Dieta Rangen	Dieta Cherax1
Numero inicial	40	40
Peso húmedo inicial (g)	3.26 ± 0.11^a	5.35 ± 0.38^b
Peso húmedo final (g)	4.48 ± 0.37^a	8.33 ± 0.64^b
Incremento (g) en 10 días	0.18 ± 0.07^a	0.84 ± 0.20^b
Incremento (g) en 20 días	0.53 ± 0.16^a	1.60 ± 0.38^b
Incremento (g) en 30 días	1.10 ± 0.38^a	2.44 ± 0.55^b
Peso seco (g)	1.13 ± 0.10^a	1.70 ± 0.25^b
TCE (%)	0.81 ± 0.2	0.91 ± 0.18
FCA	3.53 ± 1.49^a	2.7 ± 0.95^b
Intervalo de Muda (d)	22	21
Supervivencia (%)	82.5	82.5
Índice Rendimiento (g/día)	0.43	0.53

Los valores en la misma línea seguidos por diferente letra indican diferencias significativas ($a \neq b$) con un $\alpha = 0.05$.

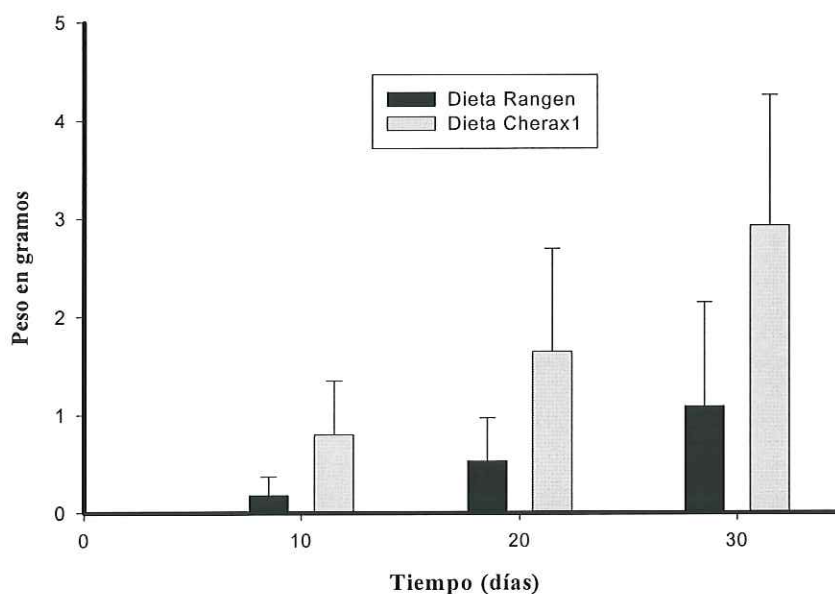


Figura 2. Crecimiento de juveniles de *Cherax quadricarinatus* alimentados con dietas de diferente nivel de proteína en un periodo de 30 días a 28 °C.

En la tabla III se presentan los componentes de la ecuación del balance energético y los índices de eficiencia de conversión, los cuales muestran la eficiencia metabólica de los juveniles de *Ch. quadricarinatus* de utilizar la energía obtenida en el alimento consumido.

El alimento consumido por los juveniles fue equivalente al 4.58% del peso corporal para el régimen de la dieta Rangen con 35% proteína y de 5.98% para el régimen con la dieta Cherax1 con 32% proteína. La energía ingerida contenida en el alimento consumido por los organismos con la dieta Rangen fue de $1976.0 \pm 483.8 \text{ J día}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ p.s.}$ y $3614.1 \pm 591.3 \text{ J día}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ p.s.}$ para los expuestos a la dieta Cherax1. Los valores de energía ingerida del alimento consumido por los organismos a los que se les proporcionó la dieta Cherax1 fueron cercanos al doble ($P < 0.05$) con respecto a los organismos alimentados con la dieta Rangen (Tabla III).

Tabla III. Parámetros del Balance Energético de los juveniles de *Cherax quadricarinatus* aclimatados a temperatura constante y alimentados con dos dietas artificiales. Ingestión (C), Producción de heces (F), Metabolismo de rutina (R), Excreción amoniacal (U), Incremento de calor aparente (ICA), Energía potencial para crecimiento (P). Índice de eficiencia de conversión bruta (K_1) e índice de eficiencia de conversión neta (K_2). ($J\text{ día}^{-1}\text{ g}^{-1}$ de peso seco) mediana $\pm$ intervalo de confianza al 95%.

Régimen Constante 28 °C		
	Alimento Cherax1	Alimento Rangen ®
C	3614.1 $\pm$ 591.3 ^a	1976.0 $\pm$ 483.8 ^b
F	42.6 $\pm$ 7.9 ^a	22.4 $\pm$ 5.7 ^b
R	79.3 $\pm$ 14.5 ^a	74.1 $\pm$ 9.0 ^a
U	13.1 $\pm$ 3.6 ^a	8.4 $\pm$ 1.4 ^b
ICA	65.8 $\pm$ 17.9 ^a	57.3 $\pm$ 15.0 ^a
M	49.8 $\pm$ 8.0 ^a	30.5 $\pm$ 8.5 ^b
P	3357.8 $\pm$ 602.5 ^a	1798.4 $\pm$ 493.2 ^b
K_1	94.4 $\pm$ 1.0	92.2 $\pm$ 1.2
K_2	94.8 $\pm$ 0.9	93.4 $\pm$ 1.2

Los valores en la misma línea seguidos por diferente letra indican diferencias significativas ($a \neq b$) con un $\alpha = 0.05$.

El porcentaje de supervivencia de los organismos mantenidos en las dos dietas artificiales durante el periodo experimental fue en ambos casos de 82.5%.

La distribución porcentual de la energía ingerida a través del alimento en los diferentes componentes del balance energético construido para los juveniles de *Ch. quadricarinatus* se muestra en la figura 3.

La energía derivada al metabolismo de rutina en los juveniles alimentados con la dieta Rangen fue de 3.75% mientras que en los organismos alimentados con la dieta Cherax1 demandaron 2.19% de la energía obtenida a través del alimento para cubrir el gasto energético causado por la respiración (Figura 3). No se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) en el gasto de la energía empleada para el metabolismo por consumo de oxígeno por parte de los organismos en las diferentes dietas experimentales (Tabla III).

En los organismos mantenidos en las condiciones experimentales la energía perdida a través de la producción de heces (F) representó el 1.13% para la dieta Rangen y de 1.18% para los organismos alimentados con la dieta cherax1 (Figura 3). Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre la cantidad de energía eliminada en la producción de heces, obteniendo una valor cercano al doble en producción de heces al alimentar a los organismos con la dieta Cherax1 en comparación con la dieta Rangen en la que los organismos presentaron un valor mucho menor en la producción de heces (Tabla III).

La excreción de amonio (U) representó un gasto de la energía consumida en el alimento de 0.43% para la dieta Rangen y de 0.36% con la dieta Cherax1 (Figura 2). La excreción de amonio fue significativamente mayor ($P < 0.05$) en los organismos alimentados con la dieta Cherax1 con respecto al gasto energético de los organismos que utilizaron la dieta Rangen (Tabla III).

Dentro del metabolismo energético de las dietas utilizadas (32 y 35% de proteína) no se apreció diferencias significativas en el incremento de calor aparente (ICA), sin embargo la tasa de excreción nitrogenada postalimentaria (UPA) fue significativamente superior ($P < 0.05$) para la dieta Cherax1 con el menor contenido proteico.

La energía que los organismos utilizaron para la producción de tejido (P) fue del 91.79% al ser alimentados con la dieta Rangen, mientras que los organismos que se alimentaron con la dieta Cherax1 destinaron un 94.45% de la energía ingerida del alimento para el desarrollo de este proceso. La energía porcentual así como la energía retenida para la producción potencial para crecimiento de los juveniles se comportaron de una forma significativamente menor ($P < 0.05$) por los organismos alimentados con la dieta Rangen que el invertido por los organismos alimentados con la dieta Cherax1 al destinarse hacia este proceso (Tabla III y Figura 3).

Las exuvias de los juveniles de *Ch. quadricarinatus* mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en la cantidad de energía destinada a este proceso entre las dietas Rangen y Cherax1, siendo los organismos alimentados con la dieta Cherax1 quienes utilizaron mayor energía para el desarrollo de este proceso (Tabla III).

Figura 3. Distribución de la Energía porcentual del alimento consumido en los diferentes parámetros de la ecuación del balance energético de *Cherax quadricarinatus*. ○ Dieta Rangen, ● Dieta Cherax1

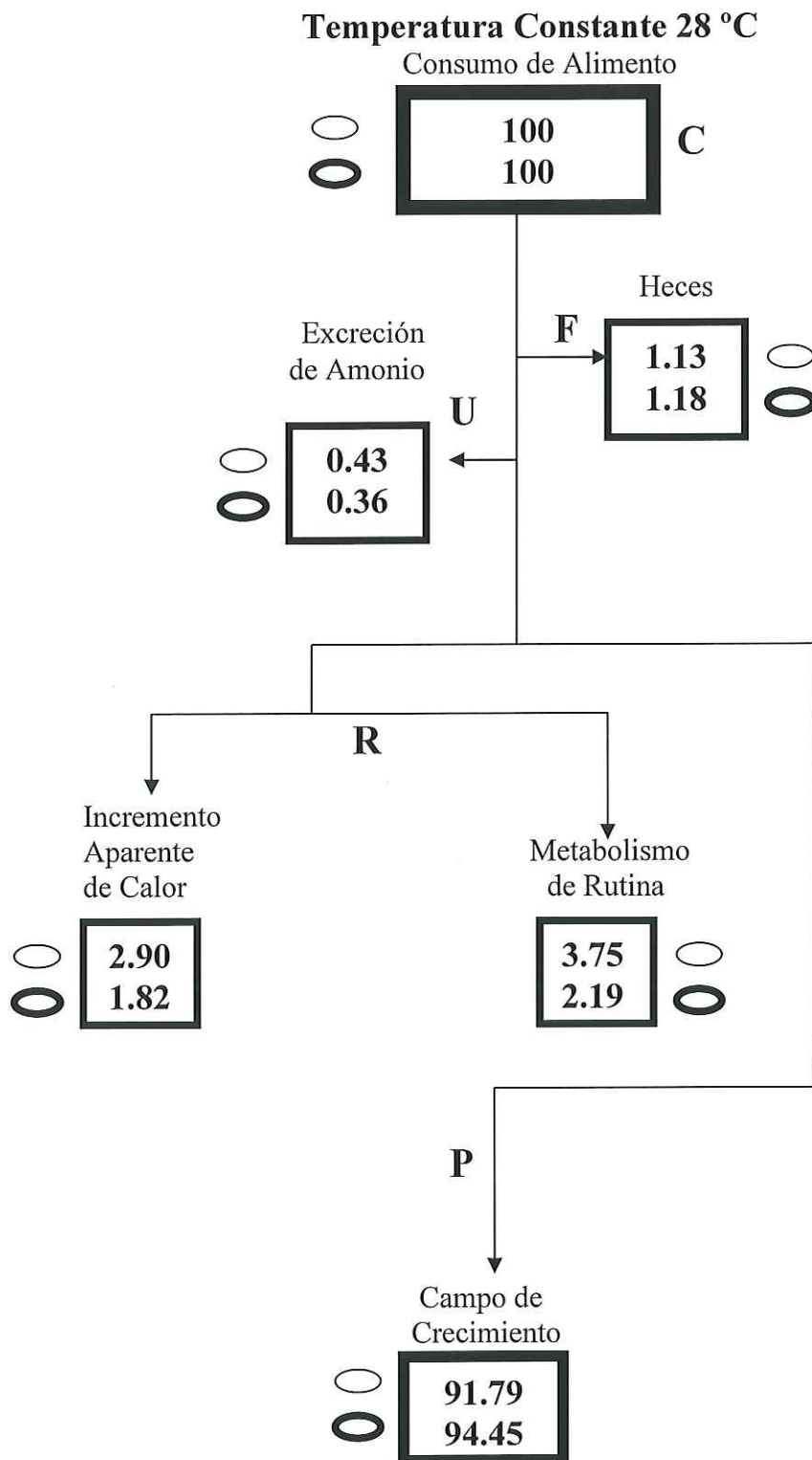


Tabla IV. Consumo de oxígeno (VO_2) en ayuno, postalimentario e incremento de calor aparente de juveniles de *Cherax quadricarinatus* en ($\text{J}\cdot\text{día}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) .

Consumo	32% Proteína	35% Proteína
	Dieta Cherax1	Dieta Rangen
VO_2 Ayuno	85.9 ± 13.6^a	72.3 ± 9.3^b
VO_2 Alimentado	113.7 ± 16.5^a	84.1 ± 8.31^b
VO_2 ICA	65.8 ± 17.9^a	57.3 ± 15.0^a
ICA (%)	76.6	79.0

Los valores en la misma línea seguidos por diferente letra indican diferencias significativas ($a \neq b$) con un $\alpha = 0.05$.

Los juveniles de *Ch. quadricarinatus* que se alimentaron con la dieta Rangen convirtieron el 92.2 ± 1.2 % de la energía ingerida en energía potencial para construcción de tejido, y tuvieron una eficiencia de conversión neta del 93.4 ± 1.2 %. Para los organismos que se alimentaron con la dieta Cherax1 la eficiencia de asimilación bruta fue del 94.4 ± 1.0 %, y convirtieron el 94.8 ± 0.9 % de la energía digerida en energía potencial para crecimiento.

Los valores de la razón atómica O:N estimados para los juveniles de *Cherax quadricarinatus* alimentados con la dieta artificial Rangen fue de 32.8 ± 6.09 y de 28.2 ± 14.17 en los organismos alimentados con la dieta Cherax1. Los valores de la razón atómica encontrados en los organismos al exponerse a las dietas artificiales Cherax1 y Rangen demostraron en ambas condiciones experimentales que los organismos presentaron un metabolismo oxidativo utilizando una mezcla de lípidos-proteínas como las principales fuentes de energía para cubrir sus requerimientos metabólicos (Figura 4).

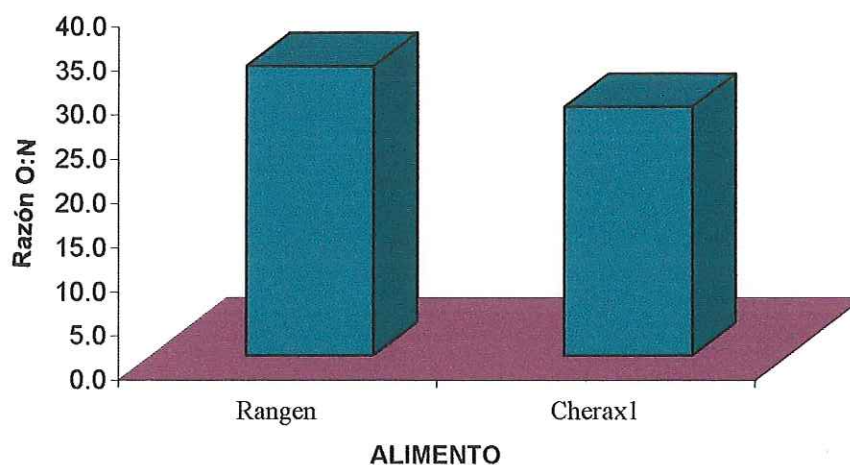


Figura 4. Razón atómica O:N de los juveniles de *Cherax quadricarinatus* expuestos a las diferentes condiciones experimentales.

4.- DISCUSIÓN

Temperatura preferida y dietas artificiales

El presente estudio de bioenergética en juveniles de langosta australiana de quejas rojas se realizó a una temperatura de 28 °C que es la que corresponde a la temperatura determinada para un óptimo de crecimiento para la especie de *Cherax quadricarinatus* por Amador Cano (2001). Escalante (2001) reportó para juveniles de *Ch. quadricarinatus* alimentados con dieta artificial Rangen y expuestos a régimen fluctuante de 25 – 28 °C presentaron un mayor aporte de energía derivado hacia el crecimiento. Jobling (1983), demostró que la temperatura preferida ú óptima por un organismo es un buen indicador de la temperatura para obtener un mayor crecimiento, debido a que refleja óptimos térmicos para que muchos procesos metabólicos se realicen de manera mas eficiente ya que se encuentra a una temperatura favorable, esto, corroborado por estudios realizados en crustáceos como *M. rosebergii* (Díaz *et al.*, 1993), *M. acanthurus* (Díaz *et al.*, 2002) y *Litopenaeus vannamei* (Valdéz, 2002).

La nutrición proteica de los crustáceos ha sido uno de los campos mas investigados dentro de la nutrición de estos animales, siendo los ingredientes de las dietas unos de los factores económicos más importantes de su formulación, sobre todo si se busca una buena calidad y constancia en su composición.

En la formulación de dietas, la harina de pescado ha sido la fuente principal de proteína animal, debido a su composición en aminoácidos esenciales y al equilibrio similar de proteína que se presenta entre los organismos acuáticos asegura una óptima utilización nutritiva, no obstante, la producción de esta materia prima se ha visto disminuida lo que ha provocado que las harinas de buena calidad se hayan encarecido

notablemente, debido a esta crisis en las últimas décadas, se han propuesto investigaciones desarrolladas a encontrar fuentes proteicas de buena calidad que puedan ser alternativas a la harina de pescado.

Los camarones, que en gran medida son cultivados en régimen intensivo, son preferentemente carnívoros estrictos con necesidades proteicas elevadas transformando los aminoácidos a otros nutrientes. Los acociles como *Ch. quadricarinatus* que es una especie omnívora detritívora no presenta esta capacidad pues no está preparado como el camarón para desarrollar el proceso de ingerir y metabolizar los nutrientes de la dieta Rangen, siendo que está diseñada preferentemente para la alimentación de camarones corroborado con los resultados encontrados en este estudio experimental.

Los piensos comerciales actuales han incorporado diversos productos vegetales como aporte energético y, en cierta medida, de proteína. La utilización nutritiva de las proteínas de origen vegetal se ha venido considerando inferior a las de origen animal, siendo su contenido de proteína en estas materias primas no muy elevado lo cuál no parece que éstas fuentes de proteína puedan sustituir de forma total a las fuentes de origen animal, pero sí en una mezcla con un balance adecuado para cada especie.

Hutchings y Villarreal (1996) han indicado que hasta el 70% de los requerimientos nutricionales de juveniles de *Ch. quadricarinatus* son cubiertos por la productividad natural en estanques de cultivo comercial. Calow (1977) comenta que la ingestión de sustratos vegetales promueve el consumo de mayor cantidad y variedad de alimentos, lo que propicia una mejor eficiencia de asimilación. Newell (1965) y Odum y de la Cruz (1967) en Hutchings y Villarreal (1996), entre otros, han indicado que las especies omnívoras generalmente mejoran su crecimiento cuando se alimentan de una

mezcla de fuentes vegetales y animales. Cortés *et al.* (2002) observó la frecuencia alimenticia en el crecimiento y supervivencia de *Ch. quadricarinatus* sus resultados sugieren que la frecuencia de alimentación óptima es de al menos 3 veces/día, siendo en los tratamientos donde se alimentó en 3 y 4 veces al día donde el factor de conversión alimenticia (FCA) fue menor (Tabla VI).

En nuestro caso coincidimos con los autores antes mencionados ya que nuestros resultados al utilizar la dieta Cherax1 con un nivel bajo de proteína y una gran cantidad de material vegetal esto evidenciado por el hábito alimentario de los acociles en su ambiente natural siendo *Cherax quadricarinatus* una especie omnívora, el crecimiento mostrado por los organismos en el tiempo de experimentación fue alto y la intención en el decremento del nivel de proteína se ven reflejado en la relación costo/beneficio, donde el factor de conversión alimenticia (FCA) mostrado por los organismos bajo las condiciones experimentales con la dieta Cherax1 permitió obtener FCA inferior que al obtenido en la alimentación de los acociles con la dieta Rangen, este resultado presentaría mejores resultados si se aplicara lo sugerido por Cortes *et al.*, 2002, al aumentar la frecuencia de alimentación diaria, lo que reafirma su calidad.

Parámetros de la Ecuación del Balance Energético

Alimento consumido (C)

Este estudio mostró valores altos en el consumo de alimento por los organismos al alimentarse con ambas dietas, sin embargo al alimentarse con la dieta Cherax1 el porcentaje en el consumo de alimento por parte de los juveniles fue mayor con respecto a

los alimentados con la dieta Rangen, lo que permitió inferir, que la ingestión del alimento Cherax1 fue mejor aceptada por los juveniles obteniéndose un mayor campo de crecimiento.

Cabe mencionar que la dieta artificial Rangen es un alimento formulado para cubrir los requerimientos nutrimentales del camarón, que igual que *Ch. quadricarinatus* es un crustáceo, se observó que la composición de esta dieta cubre satisfactoriamente los requerimientos alimenticios para esta especie obteniendo un buen resultado en crecimiento, sin embargo los mejores resultados se obtuvieron al exponerse a los juveniles a la dieta Cherax1 la cuál fue formulada para cubrir de forma satisfactoria los requerimientos nutrimentales de la langosta de quelas rojas, por lo que, esta dieta muestra ser el primer alimento artificial formulado cuya composición fue diseñada especialmente para esta especie.

Estos resultados en respuesta metabólica de la langosta australiana de quelas rojas se relacionan con la hipótesis propuesta por (Jones y Ruscoe, 1996) con relación a los hábitos alimentarios de estos organismos en el medio natural, presentando un alto contenido de materia orgánica de origen vegetal, fundamentalmente, en estado de descomposición no muy avanzado.

Se han realizado varios estudios respecto al consumo de alimentos vegetales en acociles, siendo el trabajo realizado por Rodríguez y Carmona (2002) con organismos de la especie *Cambarellus montezumae* los cuales fueron alimentados con Elodea sp. (Que es una planta acuática que se encuentra en la región del estado de México) sometida a un proceso de ensilaje, los resultados mostraron que la calidad del alimento no fue el adecuado para obtener un rápido crecimiento de los acociles lo que sugiere que los

organismos necesitaron de proteína animal sobre todo en estadios tempranos pues los vegetales no son la fuente principal de macronutrientes. En otro trabajo con el fin de observar el efecto de la fibra dietética y tiempo de vaciado gástrico sobre el crecimiento de *M. rosebergii*, González-Peña *et al.* (2002) menciona que la razón de crecimiento específica y razón de eficiencia proteica provistos a los diferentes niveles de fibra dietética se incrementó al aumentar el nivel de fibra y al incrementarse el tiempo de residencia de nutrientes en el tracto gastrointestinal de los organismos.

Estadio	Tiempo Alimentación (días)	Dieta Nivel Proteína	Incremento en Peso (g)	Supervivencia (%)	Referencias
Precrías (0.02 g)	60	25% 31% 43%	7.98 9.88 9.18	45.2 66.8 65.6	Castillo, <i>et al.</i> , 2002
Juveniles (0.2 g)	60	40%	2.35	80	Thompson, <i>et al.</i> , 2003
Juveniles (0.1 g)	60	36.7%	*(1) 3.57 (2) 3.84 (3) 4.74 (4) 5.45	86.7 86.7 93.3 98.3	Cortés, <i>et al.</i> , 2002
Juveniles (3-5 g)	30	Rangen 35% Cherax1 32%	1.10 2.44	82.5 82.5	Este Trabajo

*Frecuencia de Alimentación: (#) veces al día.

Tabla V. Comparación en crecimiento de *Cherax quadricarinatus* alimentados con dietas de diferente nivel de proteína.

Díaz-Iglesias *et al.* (2002) evaluó la bioenergética de alimentos naturales y artificiales sobre la alimentación de juveniles de langosta espinosa *Panulirus argus*, al analizarse los índices bioenergéticos determinan que el alimento basado en el porcentaje de gasterópodos aporta valores menores de proteína, mientras que al utilizar una dieta artificial de 45% de proteína y el uso de erizos el aporte de proteína para el metabolismo es mayor seguido de una dieta de 25% proteína y quitones, mientras que crustáceos y

pelecípodos solo contribuyen al metabolismo proporcionando una mezcla de lípidos y proteínas afirmando la carnivoría estricta de esta especie.

En langostas de quelas rojas *Ch. quadricarinatus* Thompson *et al.* (2003) observó el efecto sobre el crecimiento al alimentar a los acociles con dietas artificiales con y sin suplementos de lecitina y/o colesterol, sus resultados del crecimiento de los acociles sugirieron que una dieta conteniendo 25% de harina de pescado, 4.5% harina de soya, 2% de aceite de hígado de bacalao y 1% de aceite de maíz pudo satisfacer los requerimientos de lecitina y colesterol permitiendo un gasto menor en la formulación de dietas alimentarias, sus resultados al utilizar una dieta de 40% de proteína no muestra que sea el nivel adecuado para los requerimientos de los acociles, presentando un crecimiento menor que el obtenido en este trabajo con la dieta Cherax1 con 32% proteína (Tabla V). En otro trabajo Castillo *et al.* (2002), alimentando a *Ch. quadricarinatus* 2 veces/día sugieren que el nivel óptimo de proteína en la dieta es de 31% obteniendo una mayor supervivencia que la encontrada con las dietas de 25 y 43% proteína, en este trabajo coincidimos con el autor antes mencionado ya que al aplicar la dieta Cherax1 con 32% proteína el incremento en peso y la sobrevivencia fue superior que con la dieta Rangen de 35% proteína (Tabla V).

Con respecto a la cantidad de alimento consumido y la utilización de la energía contenida en este, se muestran grandes diferencias respecto a demás autores, esto puede ser debido al tipo de dieta como su composición nutricional y cantidad energética como lo muestra Escalante (2001) (Tabla VII); observándose que los organismos alimentados con la dieta Cherax1 consumieron en mayor proporción obteniendo así mayor cantidad de energía que la obtenida de la dieta Rangen. Este mayor porcentaje se refleja en los altos

valores mostrados en las tasas fisiológicas obtenidas con lo que se define que la proporción de energía ingerida en el alimento consumido por los organismos con la dieta Cherax1 es mucho mayor, en este caso muestra ser la más satisfactoria ya que se tuvo el mejor rendimiento en incremento en peso (Tabla III y V).

Estadio	Tiempo Alimentación (días)	Dieta Nivel Proteína	FCA	Referencias
Juveniles (0.1 g)	60	36.7%	*(1) 3.2 (2) 2.1 (3) 1.8 (4) 1.2	Cortés, <i>et al.</i> , 2002
Juveniles (3-5 g)	30	Rangen 35% Cherax1 32%	(1) 3.5 (1) 2.7	Este Trabajo

*Frecuencia de Alimentación: (#) veces al día.

Tabla VI. Comparación en el Factor de Conversión Alimenticia (FCA) en *Cherax quadricarinatus* alimentados con dietas de diferente nivel proteína.

Producción de Heces

La pérdida de energía vía producción de heces fecales en los juveniles de *Cherax quadricarinatus* no excedió el 2 % del total de la energía incorporada con el alimento ingerido al exponerse en ambas dietas alimentarias. En los organismos mantenidos en las condiciones experimentales la energía perdida a través de la producción de heces representó el 1.13% al alimentarse con la dieta Rangen y de 1.18% en producción de heces para los organismos alimentados con la dieta Cherax1. Esta tasa fisiológica representó una cantidad de energía eliminada por los organismos alimentados con la dieta Cherax1 cerca del doble de la cantidad que la derivada por los organismos alimentados con la dieta Rangen, encontrándose diferencias significativas en este proceso entre las

dietas artificiales utilizadas en las condiciones experimentales (Tabla III). En juveniles de *Ch. quadricarinatus*, Escalante (2001), obtuvo que la producción de heces de los organismos al exponerse en condiciones experimentales a una temperatura constante de 28 °C y a la dieta Rangen 35% proteína representaron un 3.2% del total de la energía incorporada con el alimento ingerido y en un régimen de temperatura fluctuante de 25-33 °C obtuvo un valor de energía eliminada vía heces de 4.2% del total del alimento, siendo significativamente diferentes en todas las condiciones experimentales (Tabla VII). En *Ch. tenuimanus* Villareal *et al.* (1991), obtuvo que la producción de heces estuvo relacionada inversamente con el tamaño de los organismos, con la cantidad de alimento ingerido y con el contenido de proteína en la dieta (del 17 al 48%), la tasa de producción fecal diaria fue de $0.318 \pm 0.031 \text{ mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, equivalente al 7% del alimento ingerido por los organismos. Barón Sevilla *et al.* (1994) al trabajar con *Procambarus clarkii* mencionan que la energía derivada a la producción de heces tuvo una relación directa con el contenido de proteína en la dieta, en los niveles de 20 y 35% proteína representaron entre el 5.77 y 10.02% de la energía proporcionada por el alimento ingerido por los organismos. Díaz Herrera *et al.* (1992), al trabajar en condiciones experimentales con postlarvas y juveniles de *M. rosenbergii* los cuales se alimentaron con dos dietas artificiales con un contenido de proteína de 37.58 y 44.16% respectivamente encontraron que la energía eliminada a través de las heces fue menor para las postlarvas con un intervalo de 5.95 a 11.65% mientras que para los juveniles el intervalo de energía perdida fue de 8.6 a 26.6% en producción de heces. Pérez *et al.* (1995), al analizar la ablación ocular y fotoperíodo en el balance energético observaron que para *M. rosenbergii* la energía perdida a través de las heces no presentaron diferencias

significativas en las condiciones experimentales con esta especie con un intervalo de 8.33 a 31.69 ($\text{J día}^{-1} \text{g}^{-1} \text{p.s.}$).

La diferencia entre la pérdida de energía vía producción de heces en *Ch. quadricarinatus* con respecto a los resultados obtenidos por los otros autores puede ser atribuida al tipo y calidad de los alimentos proporcionados, ya que una dieta con niveles altos de fibra incrementa la producción de heces, en este trabajo la dieta Rangen utilizada contiene en fibra mas del doble que la dieta Cherax1, sin embargo los resultados obtenidos difieren en energía perdida por este proceso siendo valores cercanos al doble en producción de heces por los organismos alimentados con la dieta Cherax1 esto puede ser debido a la gran cantidad de energía ingerida contenida en el alimento Cherax1.

Excreción Amoniacal

Los excreción amoniacal presentada por los juveniles de *Ch. quadricarinatus* utilizando la dieta artificial Rangen y a una temperatura constante fue en un valor de 8.4 ($\text{J día}^{-1} \text{g}^{-1} \text{p.s.}$) de la cantidad de energía ingerida en la dieta, en las mismas condiciones experimentales estos valores son muy similares a los encontrados por Escalante (2001), quien reportó un valor de excreción amoniacal de 7.9 ± 1.0 ($\text{J día}^{-1} \text{g}^{-1} \text{p.s.}$) en un régimen de temperatura constante, mientras que en un régimen de temperatura fluctuante sus resultados son mayores y difieren con los encontrados en el régimen constante en ambos experimentos realizados (Tabla VII).

Para los juveniles que fueron alimentados con la dieta Cherax1 los valores de excreción amoniacal través de la orina fueron de 13.1 ± 3.6 ($\text{J día}^{-1} \text{g}^{-1} \text{p.s.}$), siendo mayor la energía excretada que la encontrada al utilizar la dieta Rangen (Tabla III).

Para *M. rosebergii* Pérez Cruz *et al.* (1995) reportó valores de excreción nitrogenada teniendo valores de requerimiento de energía para este proceso de 0.8 a 4.9 ($\text{J día}^{-1} \text{g}^{-1} \text{p.s.}$). Sierra Uribe *et al.* (1997) reportó la energía vía excreción de amonio en organismos machos y hembras de *Procambarus clarkii* en valores de 0.0014 y 0.0013 $\text{J día}^{-1} \text{g}^{-1} \text{p.s}$ respectivamente.

Los crustáceos con órganos excretores eliminan las sustancias de desechos que son producto final del metabolismo, en el catabolismo del nitrógeno la mayor parte del amonio excretado es producto del catabolismo de aminoácidos de las reservas corporales, debido a que es tóxico para los animales este debe ser eliminado del medio interior. Los resultados de excreción de amonio de los autores mencionados anteriormente difieren en gran medida respecto a los obtenidos con *Ch. quadricarinatus*, ya que la excreción amoniaca sobre el metabolismo de los juveniles de la langosta de quelas rojas mostró que está estrechamente relacionado con el consumo de alimento y tipo de dieta lo cual afectó la cantidad de amonio excretado por los organismos.

Consumo de oxígeno de rutina e Incremento de Calor Aparente

La energía invertida en el metabolismo de rutina por los juveniles de *Ch. quadricarinatus* al suministrarle las diferentes dietas presentaron valores menores en la utilización de la energía (Tabla III, figura 2) en comparación con los obtenidos de Pérez Cruz *et al.* (1995) en *M. rosebergii* de 107.6 a 174.2 ($\text{J día}^{-1} \text{g}^{-1} \text{p.s.}$). Escalante (2001), reportó valores similares a los autores anteriores al trabajar a una temperatura constante y alimento artificial para camarón Rangen, siendo éste valor de $107.5 \pm 12.0 \text{ J día}^{-1} \text{g}^{-1} \text{p.s.}$ en juveniles de *Ch. quadricarinatus* (Tabla VII).

Meade *et al.* (1994) para ésta misma especie sugiere que estos organismos expuestos a tensiones debajo de 10 kPa PO_2 evitaron un estrés potencial causado por condiciones anóxicas y menciona que estos organismos son excelentes reguladores de oxígeno en un amplio rango de consumo de oxígeno del medio sin embargo esta habilidad de mantener la razón metabólica en medios anóxicos tiene sus límites.

En este trabajo los juveniles de *Ch. quadricarinatus* mantenidos en régimen de temperatura preferida presentaron valores similares en el metabolismo de rutina al suministrarle las diferentes dietas, pero al analizar la energía porcentual derivada para este proceso se mostró una diferencia marcada entre ambas, los organismos que se alimentaron con Rangen derivaron la energía en un 3.75% de la energía extraída del alimento y los juveniles que se alimentaron con Cherax1 solo requirieron de 2.19% de la energía contenida en el alimento ingerido (Tabla VII y Figura 2), lo cuál sugiere que los organismos alimentados con esta dieta utilizaron menos energía para este proceso fisiológico. Ambas dietas nos indican que la digestión del alimento por los juveniles es eficiente en ambos casos, pero para este estudio con las langostas de quelas rojas la dieta cherax1 resulta ser mejor en costo energético ya que al utilizar menor cantidad de energía conserva la mayor parte de la energía resultante, la cual probablemente será destinada para crecimiento.

El consumo de oxígeno en los juveniles de *Ch. quadricarinatus* se incrementó después de alimentados, siendo el ICA de 79% para los organismos alimentados con la dieta Rangen representando un gasto del 2.90% de la energía ingerida en el alimento y para los organismos alimentados con la dieta Cherax1 el ICA fue de 76.6% utilizando de la energía total consumida en el alimento el 1.82% (Tabla IV).

Se ha establecido que el ICA esta relacionado con el metabolismo y desaminación de las proteínas, en nuestro trabajo estos valores difirieron con los encontrados por Escalante (2001), para juveniles de *Ch. quadricarinatus* mantenidos en un régimen de temperatura constante de 28 °C reportando un incremento en el consumo de oxígeno por los organismos después de alimentados de 39.6 y 45.1% en los organismos alimentados con las dietas Rangen y Purina respectivamente (Tabla VII).

Jobling (1983) menciona, que el incremento en el consumo de oxígeno, como producto del consumo de alimento, puede tener dos explicaciones: 1) la síntesis de proteína (crecimiento), en tal caso una relación del ICA con la producción de amonio no debe de existir, 2) la oxidación de aminoácido y producción de nitrógeno excretado.

Muda

La cantidad de energía invertida en la producción de exuvias de juveniles de crustáceos ha sido poco estudiada. En este trabajo la formación de las exuvias ó mudas de los juveniles de *Ch. quadricarinatus* requirieron el 1.54% de la energía ingerida en el alimento Rangen y de 1.38% de la energía destinada para este proceso por los organismos alimentados con la dieta Cherax1 (figura 2). El intervalo de muda no mostró diferencias significativas en el número de días para el proceso de muda.

La fisiología normal de un crustáceo está continua e íntimamente ligada a los estadios sucesivos del ciclo de muda, esta se puede dividir en cinco grandes estadios: la primer fase es la postmuda temprana, en la cuál el organismo no se alimenta y el cuerpo está blando y al estar desprotegidos se convierte en una presa fácil de otras especies ó de sus mismos congéneres, la segunda fase es la postmuda tardía, en esta el

cuerpo es semiblando y empieza a comer, la tercera fase es la ítermuda, es cuando el agua absorbida en la muda es gradualmente reemplazada por proteínas de nueva formación en los estadios subsecuentes, siendo la premuda la fase siguiente donde la alimentación se activa y se produce la síntesis del nuevo exoesqueleto y por último se presenta el cambio de exoesqueleto, siendo parte del mecanismo del crecimiento mostrando cambios en forma y talla antes de que la nueva cutícula se haya mineralizado (Waterman, 1960; Díaz Iglesias, 1988).

Una estructura desarrollada eficazmente por los crustáceos de ambientes dulceacuícolas como *Ch. quadricarinatus* es la formación de una estructura especial llamada gastrolito, estas agilizan el proceso de mineralización ya que en entornos diluidos la captación de iones calcio (Ca^+) y magnesio (Mg^{++}) para este proceso es insuficiente, en el caso de aguas salobres y marinos la captación de esos elementos se realiza directamente del medio ambiente (Skinner, 1985).

Debido a los altos requerimientos de calcio por las langostas, los bajos niveles de dureza del agua afectan severamente los procesos de muda por lo que la concentración debe ser mayor a 50 mg l^{-1} (Jones, 1990). En este trabajo este factor no representó una deficiencia en aporte de calcio ya que el agua suministrada en los estanques donde se mantuvieron los organismos en las condiciones experimentales registró valores promedio de 5.8 mg l^{-1} de O_2 disuelto, 328 mg l^{-1} de CaCO_3 y de 7.8 el valor de pH.

Campo de Crecimiento

Uno de los componentes del balance energético que se refiere a la inversión de la energía que los organismos utilizan para la producción de tejido es el que representa el campo de crecimiento, el cuál en este estudio la energía derivada hacia este campo presentó diferencias significativas entre ambas dietas suministradas mostrando un mayor aprovechamiento por los organismos alimentados con la dieta Cherax1 reflejado en el incremento en peso ganado y un valor mas elevado en la tasa de crecimiento específico que al obtenido por los organismos que alimentaron con la dieta Rangen durante un período de 30 días (Tabla III, VII y Figura 2).

El destinar gran porcentaje de la energía hacia el crecimiento da a *Cherax* una ventaja superior sobre otras especies de acociles con eficiencias de crecimiento menor (Mason, 1975; Tcherkashina, 1977) en Arredondo-Figueroa *et al.* (1994).

Para *Cherax tenuimanus* Villareal (1991) menciona que los acociles destinaron 57.5% de la energía consumida en el alimento hacia el crecimiento, Woodland (1967) mencionó que *Ch. destructor* logra destinar aproximadamente el 50% de la energía ingerida en el crecimiento. Díaz Herrera *et al.* (1992), obtuvieron un campo de crecimiento para *M. rosebergii* de 68.01 y 86.67% para los langostinos alimentados con la dieta Bovilac (37% proteína) y dieta Purina (44% proteína) respectivamente. Webster *et al.* (1994), evaluaron niveles de proteína entre 25 y 55% en dietas alimentarias para juveniles de *Ch. quadricarinatus* y encontraron que la dieta conteniendo 33% de proteína fue la adecuada, obteniendo con esta dieta un óptimo crecimiento. Meade y Watts (1995), evaluaron diferentes niveles de proteína obteniendo con la dieta formulada de 30% de proteína un crecimiento de forma más favorable, sin embargo se menciona

que según sus resultados obtenidos muchas de las dietas comercialmente disponibles no proveen los requerimientos nutricionales para los juveniles de acociles australianos. Anson y Rouse (1996) mencionan que los problemas en la calidad del agua se reducen cuando se usan dietas peletizadas. Sin embargo, mientras los requerimientos nutricionales no se conozcan, los alimentos naturales van a ser necesarios como suplementos para alcanzar el mejor crecimiento y sobrevivencia de *Ch. quadricarinatus*. También han planteado que una combinación de dietas alternando el alimento artificial y alimento natural para los juveniles, puede proveer suficientes nutrientes para promover el crecimiento, ya que se obtuvieron buenos resultados en el crecimiento de *Ch. quadricarinatus* cuando los alimentaron con una dieta comercial para camarón en combinación con *Artemia* sp. En un trabajo realizado al evaluar la frecuencia de alimentación en cuatro diferentes frecuencias Cortés *et al.* (2002) encontró para *Ch. quadricarinatus* que la frecuencia óptima de alimentación es al menos 3 veces al día, sin embargo, la razón 4 veces/día incrementa la biomasa total, sus resultados muestran ser satisfactorios pero tomando en cuenta que su periodo de alimentación fue de 60 días en comparación de este trabajo con un periodo de 30 días en una ración/día, el crecimiento de *Ch. quadricarinatus* al alimentarse con la dieta Cherax1 es mayor que la encontrada por el autor antes mencionado, lo que sugiere que al aumentar la frecuencia de alimentación con la dieta Cherax1 el crecimiento sería mayor (Tabla V).

En el presente trabajo se obtuvieron resultados mejores cuando se alimentó a *Ch. quadricarinatus* con la dieta Cherax1 32% proteína lo cual con la propuesta de Jones y Ruscoe, 1996, se le agregó un alto contenido de materia orgánica de origen vegetal (zanahoria) debido a los hábitos alimenticios de esta especie y por lo tanto se

puede recomendar para alimentar a estos a cociles una dieta con contenido de proteína del 32% y que tenga las características proximales de la dieta Cherax1, a pesar de que para la langosta de quelas rojas no hay un alimento formulado en el mercado específico para esta especie Huner y Meyer (1979), señalan que los alimentos balanceados para crustáceos dan una inadecuada pigmentación, lo que no coincidió con nuestros resultados, en el presente estudio se encontró que *Ch. quadricarinatus* aprovechó de manera óptima los componentes de la dieta y además presentó pérdidas metabólicas bajas, canalizando la mayoría de la energía hacia el crecimiento y aunque no se les suministró alimento natural, la dieta Cherax1 que se les proporciono sugirió ser un alimento balanceado con un gran potencial para desarrollar una dieta comercial con fines de incrementar el crecimiento de la especie cultivada a nivel comercial.

Dieta % proteína	T °C	C	R	F	U	ICA	P	Referencias
Rangen 35%	25-33 28	2295.8 1136.6	257.6 107.5	96.7 36.1	20.0 7.9	280.1 177.9	1615.5 778.9	Escalante, <i>et al.</i> , 2001
Rangen 35% Cherax1 32%	28 28	1976.0 3614.1	74.1 79.3	22.4 42.6	8.4 13.1	57.3 65.8	1798.4 3357.8	Este trabajo
Rangen 35%	25-33 28	100 100	11.2 9.5	4.2 3.2	0.9 0.7	12.2 15.7	70.4 68.5	Escalante, <i>et al.</i> , 2001
Rangen 35% Cherax1 32%	28 28	100 100	3.75 2.19	1.13 1.18	0.43 0.36	2.90 1.82	91.79 94.45	Este Trabajo

Tabla VII. Comparación en los Parámetros del Balance Energético y distribución porcentual de *Cherax quadricarinatus* alimentados con diferentes dietas.

Relación Oxígeno-Nitrógeno

Los cambios en los valores de la razón O:N no solo reflejaron el tipo de sustrato metabólico oxidado en función de diversos factores, entre los que se encuentran el estadio de desarrollo y estado fisiológico de los organismos así como el tipo de dieta proporcionada. Este índice también es indispensable para estimar la relación metabólica entre los organismos y el alimento consumido, ya que refleja el efecto de los niveles de proteína y de la relación energía-proteína de la dieta sobre los organismos (Mayzaud y Conover, 1988).

Los valores de la razón atómica O:N estimada para los juveniles de *Ch. quadricarinatus* que fueron alimentados con las diferentes dietas artificiales utilizadas en las condiciones experimentales demostraron que los organismos no utilizaron proteína como sustrato metabólico, manteniéndose este índice en el intervalo considerado como catabolismo no netamente proteico, presentando un metabolismo oxidativo utilizando una mezcla de lípidos-proteínas como las principales fuentes de energía para cubrir sus requerimientos metabólicos, lo cual nos pudiera indicar que en su mayoría las proteínas obtenidas tanto de la dieta Rangen como de la dieta Cherax1 pudieron ser utilizadas para la producción de tejido de los organismos.

En contraste con estos resultados el crecimiento de los organismos presentó diferencias significativas obteniendo cerca del doble de crecimiento en los organismos alimentados con la dieta Cherax1 que los alimentados con la dieta Rangen, por lo que hace suponer que la composición de la dieta Cherax1 cumplió de una forma más satisfactoria los requerimientos nutricionales de los juveniles de quelas rojas destinándose la mayor cantidad de energía en la producción de tejido obteniendo un mayor crecimiento

(figura 3). Los valores obtenidos de este índice ó razón en este trabajo para *Ch. quadricarinatus* utilizando dietas artificiales fueron muy similares a los obtenidos para esta misma especie por Escalante (2001), de 25.6 y 23.3% utilizando dieta Rangen y mantenidos en temperatura constante y fluctuante respectivamente, y, de 33.7 y 24.3 para los acociles alimentados con la dieta Purina y mantenidos en los regímenes constante y fluctuante respectivamente. Se han reportado valores similares para *M. rosebergii* de 25.50 a 46.82 %, para *Palaemonetes varians* de 34.2 %, y para *Homarus americanus* de 22.1 a 26.7 % (Díaz Herrera *et al.*, 1992; Snow y Williams, 1971; Capuzzo y Lancaster, 1979).

Índices de eficiencia de conversión

En este estudio la eficiencia de conversión de la energía absorbida de las dietas artificiales por los juveniles se expresan en la tasa de asimilación bruta (K_1) y neta (K_2), los juveniles de *Ch. quadricarinatus* que se alimentaron con la dieta Rangen convirtieron el 92.2% de la energía ingerida en energía potencial para construcción de tejido, y tuvieron una eficiencia de conversión neta del 93.4%. Para los organismos que se alimentaron con la dieta Cherax1 la eficiencia de asimilación bruta fue del 94.4%, y convirtieron el 94.8% de la energía digerida en energía potencial para crecimiento. La eficiencia de conversión obtenida para los organismos en las diferentes dietas al parecer no mostró una diferencia muy marcada, sin embargo existió una notable diferencia en la tasa de ingestión, incremento en peso, la tasa de crecimiento específico así como en la energía canalizada hacia el campo de crecimiento por los organismos al exponerse a las diferentes dietas artificiales suministradas.

Lemos *et al.* (2001) reportó para postlarvas de *F. paulensis* que la tasa de asimilación neta (K_2) demostró que la energía invertida en crecimiento cuando estos organismos se expusieron en condiciones de salinidad de 5 a 25 ‰ fue similar encontrando valores de (52.2 a 56.3%) y al mantenerlos en una condición de 34 ‰ este índice resultó menor (44%), este hecho comentan puede ser atribuido al incremento en la demanda energética por aumento en la tasa metabólica, lo cuál se reflejó en un menor crecimiento. Valdéz (2002), al trabajar a diferentes salinidades y alimentados con la dieta Rangen (40% proteína) reportó que juveniles de *Litopenaeus vannamei* presentaron una eficiencia de conversión bruta (K_1) del 52.05 a 55.32 de la energía ingerida para crecimiento, mientras que la eficiencia de conversión neta (K_2) indicó un 60.71 al 66% de la energía absorbida, obteniendo los índices mas elevados en los juveniles aclimatados a 26 ‰ de salinidad, sin embargo no se obtuvo un crecimiento significativamente diferente entre las condiciones experimentales.

Índice de rendimiento

El índice de rendimiento ó incremento relativo en biomasa propuesto por Díaz Iglesias *et al.* (1991) utilizándolo experimentalmente para el análisis comparativo en crías de postlarvas de langosta *Panulirus argus* en diversas densidades, aislamiento, temperaturas y alimentación de dietas artificiales en condiciones de laboratorio, obtuvo en sus resultados que al trabajar con una menor densidad de crías obtuvo la mayor supervivencia de los organismos siendo la mejor condición expuesta entre los diferentes tratamientos pero tuvo una ligera tendencia a retrasarse el crecimiento comparado con las demás condiciones, en grupos aislados se reportan buenos rendimientos en supervivencia,

mas no muy satisfactorio en la alimentación con dietas artificiales las cuales no fueron aceptadas por las postlarvas de langostas.

En este trabajo se utilizó el índice de rendimiento según el periodo de tiempo transcurrido en experimentación para los organismos juveniles de *Ch. quadricarinatus* el cuál nos definió de forma comparativa el rendimiento relativo en la biomasa mostrado en los juveniles de langostas de quelas rojas al suministrarles las diferentes dietas alimentarias, al analizar los resultados, el índice de rendimiento obtenido del tratamiento con la dieta experimental Cherax1 presenta valores superiores comparado con la dieta artificial Rangen, esto se vió reflejado al obtenerse mas del doble del incremento en peso por los organismos alimentados con la dieta Cherax1 en un periodo de 30 días así como una tasa de crecimiento específica superior (tabla II), este hecho determina que esta dieta fue la mas satisfactoria para cumplir los requisitos metabólicos necesarios por las langostas de quelas rojas, esto tomando en cuenta que la supervivencia fue similar en ambos tratamientos. Para otras especies de crustáceos como *P. setiferus* (Taboada *et al.*, 1998), al trabajar en el efecto de diferentes niveles de proteína (10, 20, 30, 40 y 50%) con un peso inicial de 0.19 g obtuvo un índice de rendimiento en el crecimiento de los camarones de 0.81 g en 45 días y una supervivencia de 81% al ser alimentados con una dieta de un nivel de 30% de proteína representando ser el nivel óptimo. En otro trabajo realizado por Celis (2003), con postlarvas (P₁₈) de *Litopenaeus vannamei* bajo condiciones de recirculación de agua de mar observó el efecto de la biomasa sobre la calidad del agua en sistemas de cultivo (Súper-Intensivo, Hiper-Intensivo bajo é Hiper-Intensivo alto) de organismos, obteniendo valores para crecimiento de 0.433, 0.204 y 0.387 g respectivamente a la categoría de sistemas antes

mencionados, el porcentaje de supervivencia para las categorías fue de 86.3, 75.8, 43.7% respectivamente y el índice de rendimiento ó eficiencia del sistema para las categorías fueron de 0.349, 0.145 y 0.155 g en un periodo de 38 días de mantenimiento experimental alimentando a las postlarvas de camarón con la Dieta Rangen con un nivel de 40% de proteína.

Estudios publicados del balance energético muestran gran variabilidad en los datos reportados tanto para *Cherax quadricarinatus* como entre otras especies de crustáceos, esto se muestra reflejado en consecuencia de la variabilidad de los métodos experimentales, de las condiciones que se mantuvieron en las pruebas así como las diferencias intrínsecas de los organismos propias de cada especie, por lo anterior nos permite asumir que una comparación directa de los valores absolutos obtenidos en este trabajo con los mencionados en la literatura es muy difícil, sin embargo una comparación relativa de los resultados obtenidos con los diversos trabajos realizados son posibles además de ser de gran utilidad para desarrollar avances científicos importantes.

Los estudios bioenergéticos como el realizado con los juveniles de *Ch. quadricarinatus* permitieron conocer la eficiencia metabólica de la especie, también fue un método útil para evaluar el efecto de diferentes dietas sobre el campo de crecimiento de los organismos, por lo que se recomienda que este tipo de estudios sean utilizados como una guía para determinar la factibilidad de cultivar una especie introducida como la langosta de quelas rojas.

5.- CONCLUSIONES

Los juveniles de *Cherax quadricarinatus* alimentados con la dieta artificial Cherax1 con 32% de proteína derivaron al campo de crecimiento el 94.45% de la energía ingerida del alimento equivalente a 3357.8 Joules siendo 1.8 veces mayor que la destinada por los organismos mantenidos con la dieta comercial Rangen ® con 35 % de proteína siendo un valor de energía ingerida en el alimento de 1798 Joules.

Los juveniles de *Ch. quadricarinatus* alimentados con la dieta Cherax1 presentaron una tasa de crecimiento específica de 1.12 veces mayor reflejado al mostrar una mayor tasa de consumo de alimento, obteniéndose un índice de rendimiento mayor; así como de 1.02 veces mayor de eficiencia en la utilización de la energía incorporada en el alimento respecto a la dieta comercial Rangen para camarón.

El sustrato metabólico determinado por la relación atómica O:N entre las dietas experimentales indicó que se consumió preferentemente una mezcla de lípidos-proteínas equivalente a un valor de ~30, no se encontraron diferencias significativas entre las dietas ensayadas, por lo que el mayor porcentaje de las proteínas suministradas fue canalizado hacia el crecimiento.

Los organismos alimentados con la dieta Cherax1 presentaron un gasto de energía menor en el metabolismo de rutina (R) y la excreción nitrogenada (U) así como también una pérdida de energía menor en la producción de heces fecales (F) la cuál fue equivalente a 42.6 Joules.

5.1 Recomendaciones

Qué se elabore un alimento balanceado con una composición dietética idéntica a la dieta Cherax1, de bajo costo necesario que representa su elaboración y con el conocimiento de una óptima frecuencia alimenticia que promueva satisfactoriamente la producción de *Cherax quadricarinatus* a una escala de laboratorio mayor.

LITERATURA CITADA

- Amador Cano, G. 2001. Termorregulación de juveniles y adultos de la langosta de quelas rojas *Cherax quadricarinatus*. Tesis de Maestría. CICESE. Ensenada, B.C. México, 50 pp.
- Anson, K.J. y D.B., Rouse. 1996. Evaluation of several commercial feeds and a crustacean diet juvenile Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus*. Journal of Applied Aquaculture. 6: 65-76 p.
- Arredondo Figueroa, J. L., A. Inclán Sánchez, J. T. Palafox, y C. R. Campos Verduzco. 1994. Desarrollo científico y tecnológico del cultivo de la langosta de agua dulce *Cherax quadricarinatus*. Secretaria de Pesca. Convenio SEPESCA/UAM-1. 90 pp.
- Barón Sevilla, B., F. Díaz Herrera, y L. F. Bucle Ramírez. 1994. Energy budget for the red swamp crawfish *Procambarus clarkii* (Crustacea:Cambaridae). Riv. Ital. Acqua. 29:103-107 p.
- Beamish, F. W. H. y E. A. Trippel. 1990. Heat increment: a static or dynamic dimension in bioenergetic models ?. Transactions of the American fisheries society, 119: 649-661 p.
- Calow, P. 1977. Conversion efficiencies in heterotrophic organisms. Biological reviews, 52: 385-409.
- Capuzzo, J. M. Y B. A. Lancaster. 1979. Some physiological and biochemical considerations of larval development in the American lobster, *Homarus americanus*. J. Exp. Marine Biology nad Ecology. 40: 53-62 p.
- Castillo, C. E., Cisneros, L. M., S. L. Ortiz y Jover, C. M. 2002. Evaluación de dietas proteicas en precrías de langosta de agua dulce (*Cherax quadricarinatus*). I Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura (CIVA), 1 –5 pp.

Celis Raúl, 2003. Efecto de la biomasa sobre la calidad del agua en el cultivo de *Litopenaeus vannamei*, bajo condiciones de recirculación de agua de mar. Tesis de Maestría. CICESE, Ensenada, B. C. 55 pp.

Clifford, H. C. y R. W. Brick. 1979. A physiological approach to the study of growth and bioenergetics in the freshwater shrimp *Macrobrachium rosenbergii*. Proc. World Maricul. Soc. 10: 710-719 p.

Conover, R.J. y E.D.S., Corner. 1968. Respiration and nitrogen excretion by some marine zooplankton in relation to their live cycles. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 48: 49-75 p.

Cortés, J. E., Villarreal, C.H y Rendón, R. M. 2002. Efecto de la frecuencia alimenticia en el crecimiento y sobrevivencia de juveniles de langosta de agua dulce *Cherax quadricarinatus* (Decapoda:Parastacidae). I Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura (CIVA), 882-890 pp.

Díaz H. F. 1989. Estudio ecofisiológico del langostino gigante *Macrobrachium rosenbergii*. Tesis Doctoral. Fac. Ciencias UNAM. México. 110 pp.

Díaz H. F., G. Juárez Castro, E. Pérez Cruz y L. F. Bucle Ramírez. 1992. Balance energético de postlarvas y juveniles de langostino malayo *Macrobrachium rosenbergii* de Man (Crustácea:Palaemonidae). Cienc. Mar. 18: 19-32 p.

Díaz H. F., P. M. Gutiérrez y A. M. Garrido. 1993. Temperatura preferida y óptima para el crecimiento de postlarvas y juveniles de *Macrobrachium rosenbergii* (Crustacea:Palaemonidae). Rev. Biol. Trop. 41: 153-155 p.

Díaz H. F., S. Espina y R. L. Buckle. 1994. Thermal stress responses of *Procambarus clarkii*. Revista italiana Acquacultura, 29: 149-154 p.

Díaz H. F., E. Sierra., A. D. Re y L. Rodríguez. 2002. Behavioural thermoregulation and critical thermal limits of *Macrobrachium acanthurus* (Wiegman). J. Therm. Biol. 27: 423-428 p.

Díaz-Iglesias, E. 1988. Aspectos de la fisiología de animales acuáticos. Editorial Pueblo y Educación, la Habana, Cuba. Pág. 119.

Díaz-Iglesias, E., Brito, P.R y Báez-Hidalgo, M. 1991. Cría de postlarvas de langosta *Panulirus argus* en condiciones de laboratorio. Revista de Investigaciones Marinas vol. 12(1-3): 323-331.

Díaz-Iglesias, E., M. Báez Hidalgo, E. Perera Bravet e I. Fraga Castro. 2002. Respuesta metabólica de la alimentación natural y artificial en juveniles de la langosta espinosa, *Panulirus argus* (Latreille, 1804) Hidrobiológica. 12(2):101-112 p.

Elliot, J.M. y W. Davison. 1975. Energy equivalents of oxygen consumption in animal energetics. Oecologia. 19:195-201 p.

Escalante Almada, G. 2001. Fisiología energética de *Cherax quadricarinatus*: Efecto de la temperatura y dietas. Tesis de Maestría. CICESE. Ensenada, B. C. México, 41 pp.

Ezquerria J. M., F. L. Garcia-Carreño, R. Civera, N. F. Haard. 1997. PH-Stat method to predict protein digestibility in white shrimp (*Penaeus vannamei*). Aquaculture 157:251-261 p.

Gnaiger, E. 1983. Calculation of energetic and biochemical equivalents of respiratory oxygen consumption. En: Gnaiger, E. y H. Forstner (eds.). Polarographic oxygen sensor springer. Berlín, Alemania. 337-345 p.

González-Peña, M., Gomes, S y Moreira, G. 2002. Effects of dietary fiber on growth and gastric emptying time of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879). J. World Aquac. Soc. 33: 441-447 p.

Gordon, M.C. (1982). Principios y adaptaciones al medio ambiente. Ed. Continental, México D.F. 748 pp.

Gu, H., P.B. Mather, y M.F. Capra. 1995. Juvenile growth performance among stocks and families of red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens). Aquaculture. 134: 29-36 p.

Huner, J.V y Meyers, S.P. 1979. Dietary protein requirements of the red crayfish *Procambarus clarkii*, grown in a closed system. Proc. World Maricult. Soc. 10:751-760

Hutchings, R. W. y H. Villarreal. 1996. Biología y cultivo de la langosta de agua dulce *Cherax quadricarinatus* (red claw). Manual de Producción. Navimar, S.A. Guayaquil, Ecuador. 374 pp.

Jobling, M. 1983. Towards and explanation of specific dynamic actino (SDA). J. Fish. Biol. 23: 549-555 p.

Jobling, M. 1994. Fish bioenergetics. Fish and fisheries series13. Primera edición. Chapman & Hall. London. 309 pp.

Jones P.L. y S.S. De Silva (1997). Aparent nutrient digestibility of formulated diets by the Australian freshwater crayfish *Cherax destructor* Clark (Decapoda:Parastacidae). Aquaculture Research 28: 881-891.

Jones, CM. e I.M. Ruscoe (1996):Production Technology for Red claw Crayfish *Cherax quadricarinatus*. Final Report. Fish. Res. Develop. Corp.

Jones, CM. 1990. The biology and aquaculture potential of the tropical freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus*. En: Queensland Department of Primary Industries Information Series Q190028. 109 pp.

Klekowski, R. Z. y A. Duncan. 1975. Parameters of an energy budget. En: Grodzinski, W., R. Z. Klekowski y A. Duncan (eds.). Methods for ecological bioenergetics. Blackwell scientific publications. Primera edición. Oxford, Inglaterra. 97-149 p.

Kondos A. 1990. Supplementary feed essential for crayfish. Australian Fisheries. 49(11): 28-32 p.

Kossakowski, J. 1975. Crayfish *Orconectes limosus* in Poland. Freshwater Crayfish. 2:31-47 p.

Lagerspetz, K. Y. H. 1974. Temperature acclimation and the nervous system. Biol. Rev 49: 477-54 p.

Lan C. C. y B. Sun P. 1993. In vitro digestibility simulating the proteolysis of feed protein in the midgut gland of grass shrimp (*Penaeus monodon*). Aquaculture 109: 59-70 p.

Lee, D.O'C y J.F. Wickins. 1992. Crustacean farming. John Wiley & Sons, Inc. New York.

Lee P. G., N. J. Blake y G. E. Rodrick. 1980. A quantitative analysis of digestive enzymes for the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. Proc. World Maricul. Soc. 11: 392-402 p.

Lemos, D., V. N. Phan y G. Álvarez. 2001. Growth, oxygen consumption, ammonia-N excretion, biochemical composition and energy content of *Farfantepenaeus paulensis* Pérez-Farfante (Crustacea, Decápoda, Penaeidae) early postlarvae in different salinities. J. Exp. Mar. Biol. Eco. 261: 55-74 p.

Lucas, A. 1996. Bioenergetics of aquatic animals. Taylor & Francis publications. United Kingdom. 169 pp.

Mason, J. C. 1975. Crayfish production in a small woodland stream. Freshwater crayfish, 2: 449-479 p.

Mayzaud, P. y R. j. Conover. 1988. O:N atomic ratio as a tool to describe zooplankton metabolism. Marine ecology progress series, 45: 289-302 p.

Meade, M., Doeller, J., Kraus, D y Watts, S. 1994. Heat and oxygen flux as a function of P_{O_2} in juvenile australian crayfish *Cherax quadricarinatus*. Journal of Experimental Zoology 270(5): 460-466 p.

Meade, M., Doeller, J., Kraus, D y Watts, S. 2002. Effects of temperature and salinity on weight gain, oxygen consumption rate, and growth efficiency in juvenile red claw crayfish *Cherax quadricarinatus*. J. World Aquac. Soc. 33: 188-198 p.

Meade, M.E. y S.A. Watts. 1995. Weight gain and survival of juvenile Australian crayfish *Cherax quadricarinatus* fed formulated feeds. J. World Aquac. Soc. 26(4): 469-474 p.

Medley, P.B., R.G. Nelson y L.U. Hatch. 1994. Economic feasibility and risk analysis of Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* aquaculture in the southeastern United States. J. World Aquac. Soc. 25:135-146 p.

- Momot, W. T. 1984. Crayfish production: a reflection of community energetics. *Journal of Crustacean Biology*. 4(1): 35-54 p.
- Mórales Díaz, A. 1998. La langosta de agua dulce: biología y cultivo. AGT editor. México, D.F. 48 pp.
- Morrissey, N. M., 1989. A standar reference diet for crustacean nutrition research. IV. Growth of freshwater crayfish *Cherax tenuimanus*. *Journal of the World Aquaculture Society*. 20: 103-109 p.
- Morrissey, N.M., L.E. Evans, y J.V. Huner. 1990. Australian freshwater crayfish: aquaculture species. *J. World Aquac. Soc.* 21: 113-122 p.
- Nelson, S.G., M.A. Simmons, y A.W. Knight. 1985. Calorigenic effect of diets on the grass shrimp *Crangon fransiscorum* (Crustacea:Crangonidae). *Comp. Biochem. Physiol.* 82: 373-376 p.
- Newell, R. 1966. The role of detritus in the nutrition of two marine deposit feeders, the prosobranch *hydrobia uvulae* and the bivalve *Macoma balthica*. *Proceedings of the Zoological Society of London*. 144: 25-45 p.
- Odum, E. P. y A. A. de la Cruz. 1967. Particulate organic detritus in a Georgia salt-marsh estuarine ecosystem. Pages 383-388 in G. H. Lauff, editor. *Estuaries*. American Association Adv. Science, Washington, D. C., USA.
- Palomino, G., Contreras, F., Sánchez, A y Rosas C. 2001. Density and water exchange-dependent growth and survival of *Litopenaeus setiferus* postlarvae. *J. World Aquac. Soc.* 33(2): 167-176 p.

Pérez Cruz, E., F. Díaz Herrera y J. Luna Figueroa. 1995. Effect of unilateral eyestalk ablation and photoperiod on energy budget of *Macrobrachium rosenbergii* (Crustacea:Palaemonidae). Riv. Ital. Acqua. 30: 87-91 p.

Prosser, L.C. y A.F. Brown, 1968. Fisiología Comparada. 2da edición, Editorial Interamericana. México, D.F., Pág. 728 pp.

Re-Araujo A. D. y Acosta R. M. J. 2003. Ensayo de diferentes lecitinas en la dieta de juveniles de *Penaeus vannamei* (Crustacea: Decapoda). Revista de Biología Tropical / International Journal of Tropical Biology and Conservation. 51(3): 743-748.

Reynolds, W. W. y M. E. Casterlin. 1979. Behavioral thermoregulation and activity in *Homarus americanus*. Comp. Biochem. Physiol. 64A: 25-28 p.

Riek, E. F. 1972. The phylogeny of the parastacidae (Crustacea:Astacidae), and description of a new genus of australian freshwater crayfishes. Australian Journal of Zoology 20: 369-389 p.

Rodier, J. 1981. Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales y agua de mar. Omega, Barcelona, España. 138-140.

Rodríguez, S. M. y Carmona, O. C. 2002. Balance energético de Acocil *Cambarellus montezumae* (Saussure) (Crustacea:Astacidae:Cambaridae): Pérdida de energía en la tasa metabólica. I Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura (CIVA) (<http://www.civa2002.org>) 932-938 pp.

Rouse, D.B. 1995 Australian crayfish culture in the Americas. Journal of Shellfish. 14:569-572 p.

Sierra, E. y F. Díaz. 1999. Dynamic bioenergetics of postlarvae and juveniles of *Macrobrachium rosenbergii* caused by unilateral eyestalk ablation. J. Aqua. Trop. 14: 113-119 p.

Sierra Uribe, E., Díaz Herrera F., L. F. Bucle Ramírez. 1997. Effect of unilateral eyestalk ablation on the physiological energetics of *Procambarus clarkii* (Decapoda: Cambaridae). Riv. Ital. Acqua. 32: 105-113 p.

Skinner, D. M. 1985. Molting and regeneration. En: D. E. Bliss y L. H. Mantel (eds.). The biology of crustacea. Volume 9: integument, pigments and hormonal processes. Academic Press, inc. New York. 44-128 p.

Snow, N. B. y P. B. Williams. 1971. A simple method to determine the ration O:N of small marine animals. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 51: 105-109 p.

Taboada, G., Gaxiola, G., Pedroza, R., Sánchez, A., Soto, A y Rosas C. 1998. Oxygen consumption and ammonia-N excretion related to protein requirements for growth of white shrimp, *Penaeus setiferus* (L.), juveniles. Aquaculture Research. 29: 823-833 p.

Tcherkashina, N. Ya. 1977. Survival, growth and feeding dynamics of juvenile crayfish (*Astacus leptodactylus cubanicus*) in ponds and in the River Don. En: Lindquist, O.V. (ed.), Freshwater crayfish: papers from the third international symposium on freshwater crayfish. University of Kuopio, Finland. 95-100 pp.

Thompson, K., Muzinic, L., Tracey, D y Webster C. 2003. Effect on growth, survival, and fatty acid composition of australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* fed practical diets with and without supplemental lecithin and/or cholesterol. J. World Aquac. Soc. 34:10 p.

- Valdéz Sánchez, G. 2002. Determinación de la preferencia térmica y fisiología energética de juveniles de *Litopenaeus vannamei* aclimatados a diferentes salinidades. Tesis de Maestría. CICESE. Ensenada, B. C. México, 68 p.
- Vega-Villasante F., H. Nolasco y R. Civera (1995); The digestive enzymes of the Pacific Brown shrimp *Penaeus californiensis* –II. Properties of protease activity in the whole digestive tract. Comp. Biochem. Physiol. 112B (No.1) 123-29 p.
- Villareal, H. 1991. A partial energy budget for the Australian crayfish *Cherax tenuimanus*. J. World Aquac. Soc. 22: 252-259 p.
- Villareal H, Peláez J. 1999. Nutrición y alimentación de redclaw. En: Memorias del Curso Teórico-Practico de Cultivo de redclaw en Mexico. 1-21 p.
- Vondracek, B., J.J. Cech, y D. Longanecker. 1982. Effect of cycling and constant temperatures on the respiratory metabolism of the tahoe sucker, *Catostomus tahoensis* (Pisces:Catostomidae). Comp. Biochem. Physiol. 73A:1-14 p.
- Waterman, T.H. (ed.): The physiology of Crustacea. Vol. 1 y 2, Editorial Academic Press, New York, 1960.
- Webster, C. D., L. S. Goodgame-Tiu, J. H. Tidwell, y D. B. Rouse. 1994. Evaluation of practical feed formulations with different protein levels for juvenile red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*). Trans. Ky. Acad. Sci. 55: 108-112 p.
- Woodland, D.J. (1967). Population study of a freshwater crayfish, *Cherax albidus* Clark. PH D. Thesis, University of New England. 221 pp.
- Zar, J. H. 1999. Biostatistical analysis. Prentice Hall. Sexta edición. USA. 25-150 p.