

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS



BALANCE ENERGÉTICO DE LOS JUVENILES DE LANGOSTA ROJA *Panulirus*
interruptus (RANDALL, 1840) ALIMENTADOS CON MOLUSCOS

TRABAJO DE TITULACIÓN EN LA MODALIDAD DE
TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN BIOLOGÍA

P R E S E N T A

ANA KARINA ROBLES MURILLO

Las Agujas, Zapopan, Jal. Julio de 2005



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

COORDINACIÓN DE CARRERA DE LA LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

COMITÉ DE TITULACIÓN

C. ANA KARINA ROBLES MURILLO
PRESENTE.

Manifestamos a Usted que con esta fecha ha sido aprobado su tema de titulación en la modalidad de TESIS E INFORMES opción Tesis con el título "Balance energético de los juveniles de langosta roja *Panulirus interruptus* (Randall, 1840) alimentados con moluscos", para obtener la Licenciatura en Biología.

Al mismo tiempo le informamos que ha sido aceptado/a como Director de dicho trabajo el/la DR. EUGENIO DÍAZ IGLESIAS y como Asesor(es) DR. EDUARDO RÍOS JARA.

ATENTAMENTE
"PIENSA Y TRABAJA"

Las Agujas, Zapopan, Jal., 27 de marzo del 2003


DRA. MÓNICA ELIZABETH RIOJAS LÓPEZ
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN


M.C. LETICIA HERNÁNDEZ LÓPEZ
SECRETARIO DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

c.c.p. DR. EUGENIO DÍAZ IGLESIAS.- Director del Trabajo
c.c.p. DR. EDUARDO RÍOS JARA.- Director del Trabajo
c.c.p. Expediente del alumno

MERL/LHL/mam

Dr. Carlos Álvarez Moya.
Presidente del Comité de Titulación.
Carrera de Licenciado en Biología.
CUCBA.
Presente.

Por medio de la presente nos permitimos informar a usted que habiendo revisado el trabajo de titulación, modalidad de tesis con el título: "BALANCE ENERGÉTICO DE LOS JUVENILES DE LANGOSTA ROJA *Panulirus interruptus* (RANDALL, 1840) ALIMENTADOS CON MOLUSCOS", que realizó la pasante ANA KARINA ROBLES MURILLO con número de código 090318284 consideramos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para autorización de impresión.

Sin otro particular quedamos de usted con un cordial saludo.

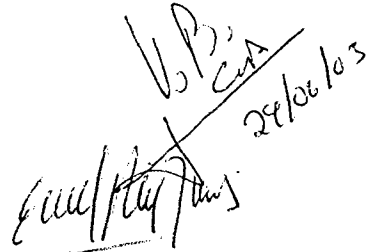
Atentamente



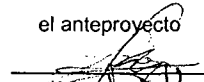
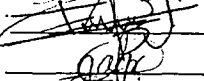
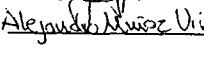
Ana Karina Robles Murillo
Guadalajara, Jalisco
11 de Mayo de 2005



Dr. Eugenio Díaz Iglesias
Director del trabajo



Dr. Eduardo Ríos Jara
Asesor

| Nombre completo de los Sinodales registrados por el Comité de Titulación | Firma de aprobado el anteproyecto | Fecha de aprobado |
|--|---|-------------------|
| M. C. Martín Pérez Peña |  | 9 mayo 05 |
| M. C. Ernesto López Uriarte |  | 9 Mayo 2005 |
| M. C. Georgina Adriana Quiroz Rocha |  | 17-Mayo 2005 |
| Supl. M. C. Alejandro Muñoz Urias | Alejandro Muñoz Urias | 9-Mayo-2005 |

ESTE TRABAJO SE REALIZÓ BAJO LA DIRECCIÓN DEL DR. EUGENIO DÍAZ IGLESIAS. EN EL DEPARTAMENTO DE ACUÍCULTURA, DIVISIÓN DE OCEANOLOGÍA DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA (CICESE).



CON LA ASESORIA DEL DR. EDUARDO RIOS JARA DEL DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA MARINA DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Eugenio Díaz Iglesias y al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo bajo su tutela.

Al Dr. Eduardo Ríos Jara por su apoyo y valiosas contribuciones.

Al Dr. Fernando Díaz Herrera por sus consejos y asesoría.

A Miriam López Zenteno por su apoyo y colaboración.

A los investigadores que participaron en la revisión y mejora de esta tesis:

M. C. Georgina Adriana Quiroz Rocha

M. C. Martín Pérez Peña,

M. C. Alejandro Muñoz Urías y

M. C. Ernesto López Uriarte, por sus valiosas aportaciones a este trabajo de tesis.

Al Dr. Eduardo Juárez Carrillo, por apoyarme durante la carrera y alentar mi desarrollo profesional.

Al M.V.Z. Álvaro Fernando Gutiérrez Villaseñor por su gran apoyo y valiosas contribuciones para realización de este trabajos.

DEDICO ESTA TESIS A:

María Elena, mi madre, quien siempre creyó en mi, me dio su apoyo incondicional y a quien debo todo lo que soy.

Mi padre Alberto, que me dio todo su amor mientras vivió y sembró en mi la semilla de la confianza. A ti te debo papá mi amor por la naturaleza, por el mar y el respeto que de43 que mi madre, siempre creyó en mi.

Ana Paola, mi hija, por motivarme, por que seré un ejemplo para ella.

Miguel Angel mi novio, que durante toda la carrera me apoyo incondicionalmente y compartió todas mis experiencias. Ahora mi esposo, ha crecido más esa unión y mutuo apoyo fomentados en el amor.

Nena y Adriana mis hermanas.

Mi guía y ejemplo, a un gran ser humano que más que maestro y director de este proyecto, fue gran amigo y un padre. Eugenio con todo mi cariño y respeto, porque creíste en mi.

Miriam López, por brindarme su amistad, compañía y apoyo durante mi estancia en Ensenada y por ser una excelente compañera de trabajo en la investigación.

Geovani, Goya y Edith, que me permitieron pasar momentos maravillosos con ellos en Ensenada

Álvaro Fernando, mi amigo, por contribuir de manera constante y crítica en mi desarrollo profesional.

Bárbara por compartir los momentos maravillosos y los difíciles de nuestras vidas desde que nos conocimos

Mi maestra y amiga Georgina Quiroz.

..... y a todos los que creyeron en mi y a los que no lo hicieron, pues me alentaron aún más

RESUMEN

Con el objetivo de conocer las transformaciones y utilización de la energía que los alimentos naturales proporcionan se llevó a cabo la determinación del balance energético que los juveniles de langosta roja *Panulirus interruptus* realizan al ser alimentados con calamar y el mejillón. Se obtuvo que a partir del 100% de la energía obtenida del alimento (C) el 81.4 % fue destinada al crecimiento (P) para la dieta con mejillón, 1.3 veces más que para calamar con 52.4 % ($P < 0.001$). En tanto que, la suma de los gastos energéticos derivados a los otros componentes del balance energético representó entre el 47.6 y 18.6 %, de los cuales, las heces (F) fueron de 3.5 y 3.9 %, los desechos nitrogenados (U) de 10.8 y 1.1 %, el metabolismo respiratorio de rutina (R) de 15 y 5.1 %, y el incremento de calor aparente (ICA) de 18.2 y 8.6 %, que representa un aumento proporcional de 121.2 y 168.9 % para calamar y mejillón, respectivamente. La relación oxígeno nitrógeno (O:N) indica que gran parte de las proteínas del calamar fueron utilizadas como sustrato energético derivando menor parte de ellas hacia el crecimiento. En el caso del mejillón la obtención de energía fue a partir del catabolismo de lípidos y proteínas, siendo las proteínas preferentemente destinadas al crecimiento.

Se concluye que el mejillón (*Mytilus galloprovincialis*) como alimento para los juveniles de *P. interruptus* cubre los requerimientos energéticos necesarios para los procesos metabólicos por lo que representa una mejor opción que pudiera contribuir como referencia para la alimentación de esta especie en laboratorio, maricultivo y en la formulación experimental de dietas balanceadas.

CUCBA



CENTRAL

CONTENIDO

| | |
|--|----|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. ANTECEDENTES | 2 |
| III. JUSTIFICACIÓN | 13 |
| VI. HIPÓTESIS | 14 |
| V. OBJETIVOS | 15 |
| V.1 General | |
| V.2 Particulares | |
| VI. MATERIALES | 16 |
| VI.1. Obtención y mantenimiento de los organismos | 16 |
| VII. MÉTODOS | 17 |
| VII.1. Determinación del comportamiento alimenticio | 18 |
| VII.2. Evaluación del consumo de alimento y producción de heces | 19 |
| VII.3. Evaluación del consumo de oxígeno, incremento de calor aparente y excreción nitrogenada | 20 |
| VII.4. Determinación del sustrato metabólico | 24 |
| VII.5. Determinación del campo de crecimiento | 24 |
| VII.6. Análisis estadístico | 24 |
| VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 25 |
| VIII.1 Comportamiento alimenticio | 25 |
| VIII.2. Consumo de alimento y producción de heces | 27 |
| VIII.3 Consumo de oxígeno, incremento de calor aparente y excreción nitrogenada | 30 |
| VIII. 4. Sustrato metabólico | 34 |
| VIII.5. Campo de crecimiento | 37 |
| IX. CONCLUSIONES | 43 |
| X. RECOMENDACIONES | 44 |
| XI. LITERATURA CITADA | 45 |

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Especies de langostas espinosas de importancia comercial en México | 3 |
| Cuadro 2. Seguimiento de los factores abióticos durante el periodo experimental | 26 |
| Cuadro 3. Consumo de oxígeno de los juveniles de <i>Panulirus interruptus</i> mantenidos durante 72 horas de ayuno y recién alimentados | 32 |
| Cuadro 4. Análisis bioenergético en <i>P. argus</i> (a) (Díaz-Iglesias <i>et al.</i> , 2002, 2001 ^{a, b, c}) y <i>P. interruptus</i> (b) para las variables de consumo de oxígeno (VO ₂ /W), excreción nitrogenada (U/W) y relación O:N a temperaturas y dietas diferentes, expresados en J · h ⁻¹ · g ⁻¹ p.h. | 36 |
| Cuadro 5. Distribución de la energía ingerida por juveniles de langosta roja <i>Panulirus interruptus</i> . Expresada en J · día ⁻¹ · g ⁻¹ p.s. por tratamiento (media ± error estándar) | 39 |
| Cuadro 6. Distribución porcentual de la energía obtenida del alimento consumido en las variables del balance energético realizado para diferentes especies de crustáceos con diferentes tipos de dietas | 40 |
| Cuadro 7. Peso promedio inicial y final, y ganancia de peso húmedo y seco en gramos (media ± error estándar) | 40 |
| Figura 1. Juvenil de langosta roja o espinosa <i>Panulirus interruptus</i> , en el cual pueden apreciarse las numerosas espinas en el cefalotórax y un par de espinas frontales sobre los ojos | 3 |
| Figura 2. Distribución de las especies de palinúridos en México | 5 |
| Figura 3. Ciclo de vida de <i>Panulirus interruptus</i> | 7 |
| Figura 4. Flujo general de la energía a través de un organismo, | |

| | |
|--|----|
| en donde se involucran cada una de las variables de la ecuación del balance energético | 9 |
| Figura 5. Escala de valores de la relación O:N, para designar el catabolismo de proteínas, lípidos y/o carbohidratos | 10 |
| Figura 6. Recipientes dentro del tanque experimental | 16 |
| Figura 7. Pesado (1), medición de longitud cefalotorácica (Lc) (2), determinación de sexo (3) y etiquetado de cada animal (4) | 17 |
| Figura 8. Elaboración de pastillas de alimento y heces | 19 |
| Figura 9. Esquema de la instalación del respirómetro dinámico. En naranja, el flujo de agua bombeado hacia el presostato; en amarillo, el flujo de agua distribuido a partir del presostato a cada una de las cámaras | 22 |
| Figura 10. Cámara respirométrica. Las flechas muestran el sentido de la circulación del agua | 23 |
| Figura 11. Toma de muestras de agua y registro del consumo de oxígeno (a) y excreción nitrogenada (b) | 23 |
| Figura 12. Relación entre la cantidad de alimento consumido de cada dieta y el peso de las langostas | 28 |
| Figura 13. Distribución porcentual de la energía obtenida del calamar (C) y mejillón (M) en los diferentes componentes de la ecuación del balance energético de los juveniles de <i>Panulirus interruptus</i> | 42 |

I. INTRODUCCIÓN

Para México la langosta roja (*Panulirus interruptus*) representa un recurso de gran valor y demanda cuya producción alcanza el sexto lugar de importancia. Desafortunadamente, su desarrollo pesquero ya no tiene posibilidades de expansión debido a la competencia por zonas de captura y a las variaciones ambientales que afectan la distribución y abundancia de esta especie. Representa, entonces, un proyecto de gran potencial el lograr cultivar esta langosta. Hasta el momento, aún no se ha logrado establecer el cultivo del ciclo completo para esta especie. Sin embargo, se considera factible el crecimiento de postlarvas y juveniles en semicultivo, debido a que presentan rápida maduración, se reproducen en cautiverio y sus hábitos gregarios facilitan la crianza de juveniles y adultos. Los principales retos para cultivo de crustáceos y en particular de langostas, es proporcionar una dieta adecuada a los requerimientos nutrimentales, lograr la optimización de las raciones, así como, la incorporación de proteína a la síntesis de tejido (crecimiento). Por lo tanto, es importante establecer una dieta de referencia que pueda contribuir en el desarrollo de nuevas formulaciones. Representa, un importante reto determinar el uso y distribución de la energía obtenida a partir de los alimentos que se ofrecerán a las langostas. En este aspecto, el estudio del balance energético o análisis bioenergético de una especie permite conocer las transformaciones y la utilización de la energía obtenida de los alimentos, así como, los factores que influyen en el destino de la misma dentro de un organismo. En general son escasos los estudios realizados sobre nutrición y crecimiento de la langosta roja y actualmente no se conocen estudios referentes a su bioenergética. Resulta muy importante conocer la distribución del presupuesto energético que esta especie realiza a partir de dietas naturales en aras de contribuir a sentar las bases para la formulación de dietas balanceadas adecuadas a sus requerimientos energéticos que faciliten el desarrollo del cultivo de esta especie.

II. ANTECEDENTES

Entre los crustáceos de importancia comercial en el mundo, la langosta representa uno de los recursos pesqueros de gran valor y demanda, debido a que se considera un alimento muy apreciado. Su explotación, es soportada principalmente por especies pertenecientes a 4 familias: Homaridae, Nephropsidae, Scyllaridae y Palinuridae (Vega-Velásquez *et al.*, 1996).

Mundialmente México ocupa el vigésimo séptimo lugar en producción de langosta. A nivel nacional su producción alcanza el sexto lugar de importancia, contribuyendo con el 1.68 % del valor total de la producción pesquera (SAGARPA, 2002). Entre las especies de mayor interés comercial capturadas, se encuentran las pertenecientes a la familia Palinuridae, del género *Panulirus*, conocidas comúnmente como langostas espinosas debido a sus características morfológicas (Figura 1).

La producción del Pacífico y el Caribe mexicano se basa principalmente en cuatro especies pertenecientes a este género (Cuadro 1). Siendo la explotación de *Panulirus interruptus* a lo largo de la costa occidental de la Península de Baja California la más importante en antigüedad, valor y volumen, seguida por la de *P. argus* en las costas de Yucatán y Quintana Roo y finalmente en menor proporción la de *P. inflatus* y *P. gracilis* en las costas del Pacífico (Ayala *et al.*, 1988; Vega-Velásquez *et al.*, 1996). En las islas de Revillagigedo existen poblaciones de *Palinurus penicillatus* que no son de importancia comercial (Díaz-Arredondo y Guzmán, 1995; Vega-Velásquez *et al.*, 1996).

Según Vega-Velásquez *et al.*, (1996) históricamente la explotación de la langosta roja en la Península de Baja California puede dividirse en tres etapas de desarrollo: una etapa inicial a principios del siglo XX hasta 1945, caracterizada por subexplotación y desarrollo incipiente, así como, la captura por parte de extranjeros principalmente; una etapa de crecimiento y expansión (de 1946 a 1960), en la cual el número sociedades cooperativas aumenta así como la captura; y la etapa de desarrollo y estabilización (desde 1961 hasta el presente)

en la que después del pico máximo de desarrollo hacia fines de los años setenta ya no tiene posibilidades de expansión debido a la competencia por zonas de captura y a las variaciones relacionadas con condiciones ambientales que afectan la distribución y abundancia de esta especie. En el año 2002 la captura comercial de *P. interruptus* contribuyó con el 60 % de la producción nacional de langosta y con el 93 % de la producción total del Pacífico (SAGARPA, 2002).

Cuadro 1. Especies de langostas espinosas de importancia comercial en México (Ayala *et al.*, 1988; Atlas pesquero de México, 1994)

| Nombre científico | Nombre común |
|------------------------------|--|
| <i>Panulirus interruptus</i> | Langosta roja o espinosa de California |
| <i>Panulirus inflatus</i> | Langosta azul o cabezona |
| <i>Panulirus gracilis</i> | Langosta verde o pinta |
| <i>Panulirus Aarhus</i> | Langosta espinosa del Caribe |

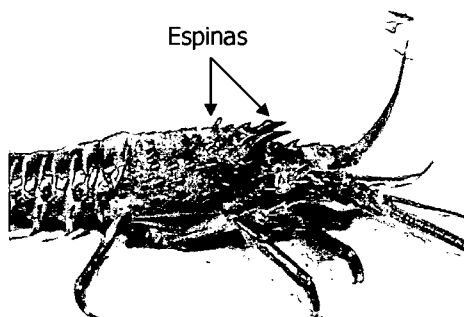


Figura 1. Juvenil de langosta roja o espinosa *Panulirus interruptus*, en el cual pueden apreciarse las numerosas espinas en el cefalotórax y un par de espinas frontales sobre los ojos.

Según Martín y Davis (2001), las langostas espinosas de México, se encuentran bajo la siguiente clasificación taxonómica:

Phylum Arthropoda

Subphylum Crustacea

Clase Malacostraca

Subclase Eumalacostraca

Superorden Eucarida

Orden Decapoda

Suborden Pleocyemata

Infraorden Palinura

Superfamilia Palinuroidea

Familia Palinuridae

Género *Panulirus* (White, 1847)

Especie *Panulirus interruptus* (Randall, 1840)

Panulirus inflatus (Bouvier, 1895)

Panulirus gracilis (Streets, 1871)

Panulirus penicillatus (Oliver, 1791)

Panulirus argus (Latreille, 1804)

Panulirus interruptus se distribuye desde San Luis Obispo, California, E. U. A., hasta Isla Santa Margarita en Baja California Sur. Según informes se han encontrado poblaciones significativas en Arroyo el Conejo y bahía de Todos Santos, hacia el sur de esta península. (Vega-Velásquez *et al.*, 1996). Existen poblaciones de poca importancia en el Golfo de California, en las inmediaciones del Sur de Bahía de los Ángeles, Baja California Norte y hacia el sur en Santa Rosalía y Mulegé (Figura 2) (Ayala *et al.*, 1988).

Habita en fondos rocosos y rocoso-arenosos, desde aguas someras hasta los 150 metros de profundidad, en aguas frías subtropicales de la corriente de California (Vega-Velásquez *et al.*, 1996). Se le captura con más frecuencia entre los 10 y 22 metros de profundidad (Ayala *et al.*, 1988). Tanto los juveniles

como los adultos de son de hábitos crípticos y nocturnos, por lo que durante el día permanecen ocultos en lechos de algas marinas, grietas de rocas en el caso de los juveniles y los adultos se encuentran entre rocas, bancos de coral y cuevas. Por las noches salen de sus refugios en busca de alimento regresando al amanecer (Ayala *et al.*, 1988; Lipcius y Eggleston, 2000).

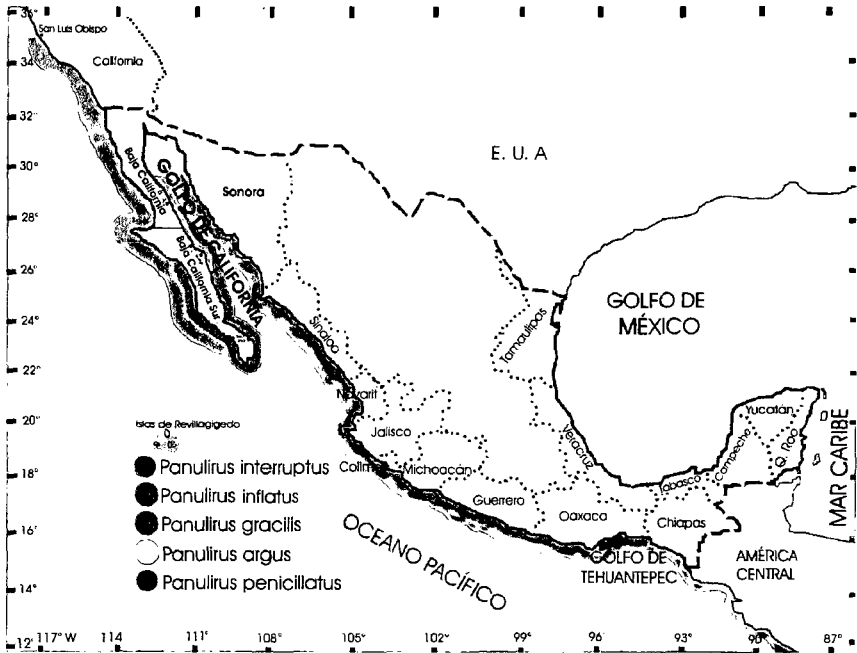


Figura 2. Distribución de las especies de palinúridos en México. (Tomado y modificado de Ayala *et al.*, 1988; Briones-Fourzán y Lozano-Álvarez, 2000)

Presenta en su ciclo de vida 11 estadios o fases larvarias, en los cuales se encuentra como parte del plancton (Cobb y Phillips, 1980; Ayala *et al.*, 1988). Al llegar al último estadio, la larva de 7.5 mm longitud cefalotorácica y de 2 a 3 cm de longitud total), el cual es incoloro y presenta las características externas de un adulto (Ayala *et al.*, 1988; Vega-Velásquez *et al.*,

1996; Guzmán-Del Prío *et al.*, 1996). Éste se acercará nadando hacia la costa (orientado por un complejo sistema de receptores en las antenas) y se asentará en aguas someras en donde iniciara su vida bentónica. Se estima que este proceso dura aproximadamente un año (Cobb y Phillips, 15., 1996; Lipcius y Eggleston, 2000).

Una vez asentados los puérulos en el fondo, después de 9 a 10 días mudan y se transforman en juveniles (aproximadamente de 5 a 15 mm Lc) que se pigmentan poco a poco y permanecen en aguas poco profundas refugiados entre algas y pastos marinos (Figura 3) (Ayala *et al.*, 1988; Vega-Velásquez *et al.*, 1996; Lipcius y Eggleston, 2000). Los juveniles que han alcanzado tallas de entre 20 y 45 mm de longitud cefalotorácica (Lc) poco a poco se van trasladando fuera de los bancos algas hacia zonas de fondos rocosos en donde pequeñas grietas serán sus nuevos refugios. Después de superar la talla de 45 mm Lc (aproximadamente un año después de asentarse) salen por las noches en busca de alimento alejándose cada vez más de su refugio. Al acercarse a la talla de madurez (aproximadamente dos años después de asentarse) alrededor de 75 mm Lc las langostas van desplazándose hacia bancos de coral (Lipcius y Eggleston, 2000). A medida que adquieren la madurez sexual (3 años en macho y 5 años en hembras) emigran hacia aguas más profundas incorporándose a la población adulta (Vega-Velásquez *et al.*, 1996).

El crecimiento de éstas langostas, como el de todos los crustáceos, se lleva a cabo a través del proceso conocido como "muda" o ecdisis, mediante el cual el exoesqueleto es eliminado y sustituido por uno nuevo, incrementando así de tamaño y peso, dependiendo de la disponibilidad de alimento y temperatura (Cobb y Phillips, 1980; Pandian y Vernberg., 1987; Vega-Velásquez *et al.*, 1996). Los juveniles mudan varias veces al año y conforme van alcanzando la edad adulta mudan una sola vez por año, generalmente entre los meses de agosto y septiembre (Ayala *et al.*, 1988; Bodkin y Wildl, 1992).

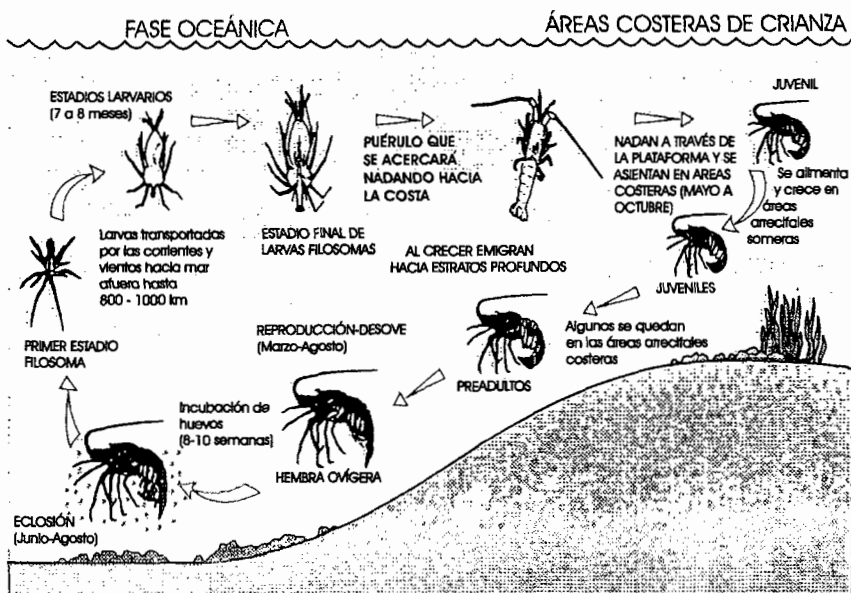


Figura 3. Ciclo de vida de *Panulirus interruptus* (Tomado y modificada de: Ayala *et al.*, 1988; Vega-Velásquez *et al.*, 1996; Lipcius y Eggleston, 2000).

La dieta de la langosta roja es esencialmente carnívora con cierta plasticidad trófica, que cambia de carnívora a vegetariana y carroñera de acuerdo con las condiciones ambientales. Se ha observado que estos animales consumen gasterópodos y mejillones preferentemente, así como, una marcada preferencia por alimento fresco (Ayala *et al.*, 1988; Díaz-Arredondo y Guzmán, 1995; Kittaka y Booth, 2000^b).

Debido a la complejidad de su ciclo de vida y a sus diferentes requerimientos ecológicos y alimenticios, principalmente en las primeras fases de larva filósoma, aún no se ha logrado establecer el cultivo del ciclo completo para esta especie. En la actualidad el cultivo de langostas espinosas se encuentra en la fase inicial de investigación, que en comparación con el de camarones peneidos, éste lleva un atraso de 50 años. Por lo cual, lograr cultivar langosta roja representa un proyecto de gran potencial, ya que como se

sabe, el cultivo de camarón en sus inicios presentó sus complejidades y ahora se cultiva a gran escala en todo el mundo (Kittaka, 1990). El crecimiento de postlarvas de langostas espinosas en semicultivo se considera factible, debido a que presentan rápida maduración, se reproducen en cautiverio y sus hábitos gregarios facilitan la crianza de juveniles y adultos (Kittaka y Booth, 2000^a). Así mismo, Vega-Velásquez *et al.*, (1996) proponen desarrollar a mediano o largo plazo semicultivos de langosta con fines de repoblamiento y/o comerciales.

Los principales retos en el cultivo de crustáceos y en particular de langostas, es proporcionar una dieta adecuada a los requerimientos nutrimentales, lograr la optimización de las raciones, así como, la incorporación de proteína a la síntesis de tejido (crecimiento) (Villarreal, 1991; Jeffs y Davis, 2003). Por lo tanto, es importante establecer una dieta de referencia que pueda contribuir en el desarrollo de nuevas formulaciones (Jeffs y Davis, 2003).

Representa, un importante reto determinar el uso y distribución de la energía obtenida a partir de los alimentos que se ofrecerán a las langostas. En este aspecto, el estudio del balance energético o análisis bioenergético de una especie permite conocer las transformaciones y la utilización de la energía obtenida de los alimentos, así como los factores que influyen en el destino de la misma dentro de un organismo (Klekowski y Duncan, 1975). Aún cuando, en los organismos la energía requerida para la realización de trabajo y el crecimiento se obtiene a partir del alimento mediante una serie de complejas reacciones químicas en las células, es posible generar una ecuación balanceando las transformaciones energéticas involucradas en el flujo de energía a través de un organismo (Klekowski y Duncan, 1975; Nelson y Knight, 1977).

El balance energético o bioenergético de la langosta roja puede ser descrito mediante la ecuación propuesta por Klekowski y Duncan (1975):

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

En donde C es el total de energía ingerida en el alimento en un determinado intervalo de tiempo, P es la energía canalizada hacia el

crecimiento, R es la energía utilizada en la respiración, F es el contenido energético de aquella parte del material ingerido que es eliminado como heces fecales, U es la energía eliminada como productos nitrogenados y el ICA representa el incremento de calor aparente o acción dinámica específica, que refleja el aumento en el consumo de oxígeno debido al costo energético asociado con los procesos de ingestión, transformación mecánica, asimilación, transporte, tratamiento bioquímico e incorporación del alimento (Figura 4) (Klekowski y Duncan, 1975; Beamish y Trippel, 1990). De la energía ingerida (C) una parte se pierde (F y U) al expulsarse fuera del cuerpo y otra parte es metabolizada (P y R), lo cual da como resultado la ecuación fundamental de la bioenergética (Lucas 1996):

$$C - (F + U) = R + P$$

R esta integrada por la respiración rutina y el aumento de la respiración debido a la ingesta del alimento (acción dinámica específica o incremento de calor aparente) y P involucra crecimiento en tejido.

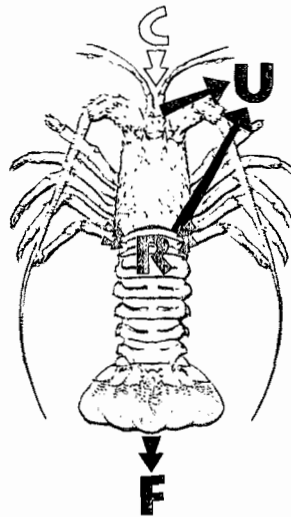


Figura 4. Flujo general de la energía a través de un organismo, en donde se involucran cada una de las variables de la ecuación del balance energético.

Se conoce que las tasas de consumo de oxígeno y excreción de desechos nitrogenados se ven afectadas por factores como el estadio de desarrollo del organismo, el tipo de dieta y el grado de estrés fisiológico (Mayzaud y Conover 1988). Es así, que la relación O:N (oxígeno:nitrógeno) descrita inicialmente por Mayzaud y Conover (1988) ha sido usada ampliamente en crustáceos (Dall y Smith, 1986; Díaz-Herrera *et al.*, 1992; Escalante, 2001; Díaz-Iglesias *et al.*, 2001^{a,b,c}, 2002; Meza, 2004) como un indicador del sustrato metabólico que está siendo oxidado preferentemente por el animal como fuente principal de energía. De ésta, se obtienen valores numéricos, que son el resultado del catabolismo de proteínas puras, de mezclas de proteínas y lípidos, cantidades equivalentes de lípidos y proteínas, y el uso de lípidos y carbohidratos (Figura 5) (Mayzaud y Conover, 1988).

| 3 -16 | 17 - 50 | 50 - 60 | 60 - |
|-----------------|-------------------------------|--|-----------------------------------|
| Proteínas puras | Mezcla de proteínas y lípidos | Cantidades equivalentes de proteínas y lípidos | Mezcla de lípidos y carbohidratos |

Figura 5. Escala de valores de la relación O:N para designar el catabolismo de proteínas, lípidos y/o carbohidratos.

Se han realizado importantes estudios referentes al análisis bioenergético en otros palinuridos. Para la langosta espinosa del Caribe *P. argus*, se ha determinado el efecto de diferentes dietas naturales y comerciales, con el fin de contribuir en el desarrollo de biotécnicas apropiadas que permitan la cría y cultivo de esta especie. Entre dichos estudios encontramos los realizados por Buesa (1979), Conceição *et al.*, (1996) y Díaz-Iglesias (1991, 1996, 2001^{a b c}, 2002, 2004). Además Blanco y Fraga (2003), evaluaron crecimiento y supervivencia de esta especie en condiciones de laboratorio.

Para otras especies de crustáceos decápodos se ha efectuado el balance energético a partir de dietas balanceadas y naturales (Cuadro 6). Villarreal (1991) obtuvo para *Cherax tenuimanus* que la energía destinada al crecimiento en los acociles con que consumieron una dieta con 48 % de proteína fue 1.6 veces mayor que para las dietas con 17 % y 33 % de proteína. Díaz-Herrera *et al.*, (1992) concluyeron que al alimentar a juveniles de langostino malayo *Macrobrachium rosenbergii* con Purina (44 % proteína) éstos canalizaron mayor porcentaje de proteínas hacia el campo de crecimiento con la dieta Bolivac (38% de proteína). Barón *et al.*, (1994) alimentaron al acocil rojo *Procambarus clarkii*, con cuatro dietas formuladas con diferentes niveles de proteína (20, 25, 30 y 35 %), encontraron que los valores más altos del campo de crecimiento de esta especie fueron obtenidos en los acociles alimentados con las dietas de 25 y 30 % de contenido de proteína.

Olivares *et al.*, (1994) al alimentar a hembras y machos de *Artemia franciscana* con la microalga *Chaetoceros sp.*, encontraron que las hembras derivan mayor porcentaje de energía al campo de crecimiento que los machos, aún a diferentes temperaturas. Escalante (2001), encontró que los juveniles de langosta de quelas rojas *Cherax quadricarinatus* alimentados con Rangen (35% de proteína) y aclimatados a un régimen fluctuante de temperatura, derivaron mayor cantidad de energía al campo de crecimiento que aquellos alimentados con Purina (32 % de proteína) y bajo régimen constante de temperatura. Meza (2004), en la misma especie (*Cherax quadricarinatus*), en contraste con lo informado por Escalante (2002) observó las mejores tasas de crecimiento al alimentar a los juveniles de esta langosta con Purina (32 % de proteína).

En general son escasos los estudios realizados sobre nutrición y crecimiento de la langosta roja y actualmente no se conocen estudios referentes a su bioenergética. Es así, que resulta de gran relevancia conocer la distribución del presupuesto energético que esta especie realiza a partir de dietas naturales en aras de contribuir a sentar las bases para la formulación de

dietas balanceadas adecuadas a sus requerimientos energéticos que faciliten el desarrollo del cultivo de esta especie.

El presente trabajo experimental tuvo como objetivo determinar el balance energético de los juveniles de langosta roja *Panulirus interruptus*, alimentados con dos dietas naturales disponibles en el mercado: calamar y mejillón. Es posible pensar que al alimentar con calamar o mejillón a los juveniles de *P. interruptus*, alguna de éstas dos dietas podría resultar más adecuada fisiológicamente para favorecer el crecimiento óptimo ya que las proteínas del calamar y el mejillón pudieran ser utilizadas tanto como sustrato energético, como para el crecimiento de los juveniles.

III. JUSTIFICACIÓN

La langosta roja *Panulirus interruptus* es uno de los productos pesqueros más importantes para México. Incrementar su producción mediante semicultivo o maricultivo y la cría de juveniles y postlarvas en laboratorio representan opciones para soportar la demanda y favorecer la recuperación de las poblaciones naturales.

Debido a la complejidad de su ciclo de vida y a sus diferentes requerimientos ecológicos, principalmente en las primeras fases de larvas filosomas, aún no se ha logrado establecer el cultivo del ciclo de vida completo para esta especie. Los mayores retos para el cultivo de crustáceos y en particular de langostas, es proporcionar una dieta adecuada a los requerimientos nutrimentales, lograr la optimización de las raciones, así como, la incorporación de proteína a la síntesis de tejido. Por eso, la importancia de realizar estudios que permitan conocer los requerimientos energéticos de la especie, con el fin de proporcionarle el alimento adecuado que propicie el óptimo desarrollo y crecimiento.

Los estudios bioenergéticos permiten conocer las transformaciones y la utilización de la energía de los alimentos, así como los factores que influyen en el destino de la misma en el medio interno como lo mencionan Klekowski y Duncan (1975). Resulta un proyecto de gran relevancia conocer la distribución del presupuesto energético que esta especie realiza a partir de dietas naturales como el calamar y mejillón, en aras de contribuir a sentar las bases para la formulación de dietas balanceadas adecuadas a sus requerimientos energéticos que faciliten el desarrollo del cultivo de esta especie.

IV. HIPÓTESIS

De acuerdo con estudios tróficos realizados en ejemplares de langosta roja capturados en el medio natural, se ha constatado que éstas basan su alimentación fundamentalmente en diferentes especies de moluscos, por lo que se puede suponer que tanto el calamar como el mejillón suplen los requerimientos bioenergéticos y metabólicos que garanticen el crecimiento óptimo de los juveniles de *Panulirus interruptus*.

V. OBJETIVOS

V.1 General

Determinar el balance energético en los juveniles de langosta roja *Panulirus interruptus* alimentados con dietas naturales: calamar y mejillón.

V.2 Particulares

1. Establecer el comportamiento alimenticio en cuanto a frecuencia de alimentación y cantidad de alimento a proporcionar.
2. Evaluar el consumo del alimento (C) y la eliminación de las heces (F) para cada dieta.
3. Evaluar el efecto metabólico de estos alimentos mediante la determinación del consumo de oxígeno (R), incremento de calor aparente (ICA) y la excreción nitrogenada (U) en un sistema respirométrico dinámico.
4. Estimar el sustrato metabólico utilizado por *Panulirus interruptus* mediante la determinación de la relación atómica oxígeno:nitrógeno (O:N) para cada tipo de alimento.
5. Establecer el campo de crecimiento (P) para cada dieta.

VI. MATERIALES

VI.1. Obtención y mantenimiento de los organismos

Los juveniles de langosta *Panulirus interruptus* fueron colectadas en la Isla de Cedros por pescadores de la cooperativa "Pescadores Nacionales de Abulón, S.A." de Guerrero Negro, Baja California Sur. Se transportaron en hieleras de unicel con agua de mar y macroalgas (*Macrocystis pilifera*) hasta el laboratorio de acuicultura del CICESE en Ensenada, en donde fueron colocadas al aire libre en tanques de fibra de vidrio de 2,000 litros para su acondicionamiento durante 20 días a temperatura ambiente, entre 15 y 18 grados y aireación constante.

Las langostas fueron alimentadas *ad libitum*, con calamar y mejillón. El calamar (*Dosidiscus gigas*) fue adquirido en un mercado local. El mejillón (*Mytilus galloprovincialis*) fue proporcionado por Aqualap S.A. de C.V. Los mejillones se mantuvieron vivos hasta el momento de suministrárselo a las langostas mientras que el calamar se mantuvo en congelación.

Cada langosta fue colocada en un recipiente cilíndrico de 1 galón, con ventanas y malla para permitir la circulación del agua, todo esto dentro de un tanque de fibra de vidrio de 500 litros, con agua circulante y aireación constante (Figura 6). El agua provino de un sistema abierto de bombeo directo del océano, pasando por un filtro rápido de arena, un filtro de diatomita y luz UV.

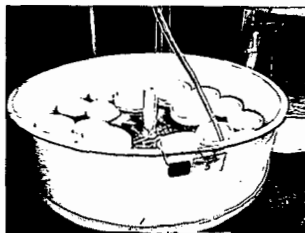


Figura 6. Recipientes dentro del tanque experimental.

VII. MÉTODOS

Transcurrido el tiempo de acondicionamiento se tomaron 21 langostas al azar y se trasladaron al laboratorio húmedo, en donde fueron pesadas, medidas (longitud cefalotorácica en milímetros), se determinó sexo, se etiquetaron (se fijó una lentejuela con pegamento de contacto) en el cefalotorax y se numeraron con un marcador indeleble para su identificación (Figura 7).

Los organismos fueron hembras y machos juveniles, con un intervalo de biomasa húmeda de entre 29 y 154 g y promedio de 91.76 g y de longitud cefalotorácica (Lc) de entre 32 y 56 mm con un promedio de 45 mm. Se procuró que todos los organismos completaran un ciclo de muda durante el experimento. Se respetó el fotoperiodo de 12 horas luz y 12 horas oscuridad y se registraron diariamente los factores abióticos de: temperatura, salinidad y semanalmente oxígeno disuelto.

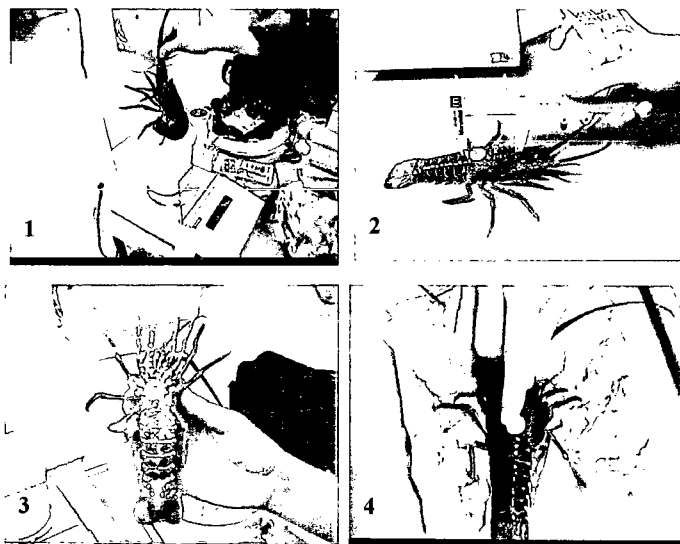


Figura 7. Pesado (1), medición de longitud cefalotorácica (Lc) (2), determinación de sexo (3) y etiquetado de cada animal (4).

VII.1 Determinación del comportamiento alimenticio

Con el fin de proporcionarle a cada langosta el alimento suficiente, se llevó a cabo la determinación del consumo y frecuencia de alimentación de manera individual. Fue necesario determinar el patrón que permitiera conocer el tiempo transcurrido entre cada evento alimenticio, así como la ración necesaria para obtener el alimento no consumido (restos) y evitar que los animales sean sub-alimentados. La técnica utilizada para la determinación del consumo fue la gravimétrica descrita por Klekowski y Duncan (1975) que consiste en pesar el alimento antes de suministrarlo y restar el alimento no consumido.

Este experimento se realizó durante un periodo de tres semanas, en el cual las langostas se separaron al azar en dos grupos, uno para cada dieta, 11 langostas para calamar y 10 para mejillón. Se inició ofreciendo un 5 % de la biomasa húmeda en relación con el peso del animal y según el consumo de cada animal, se consideró que éste porcentaje pudiera aumentar gradualmente hasta determinar el más adecuado para que se alimenten y dejen restos. En cuanto a la frecuencia de alimentación, se probó suministrar por las noches el alimento diariamente durante una semana. A su vez, se realizaron pruebas preliminares de peso seco promedio para calamar y mejillón con el fin de poder calcular su peso seco inicial a partir de los restos que cada langosta no consumió.

VII.2. Evaluación del consumo de alimento y producción de heces

Durante 66 días se alimentó a las langostas de manera individual. El alimento en fresco se pesaba y suministraba por la noche, colectando los sobrantes del mismo a la mañana siguiente. Los restos se retiraban y pesaban en húmedo. El alimento consumido, se calculó mediante la diferencia entre el suministrado y los restos. Las heces producidas se colectaban cada 12 horas y antes de suministrar la siguiente ración de alimento, para lo cual se utilizó un sifón, en cuyo extremo se colocó una malla de 140 μm . El total de heces y muestras de alimento se deshidrataron hasta obtener su peso seco constante en una estufa Lindberg Bluem 828 a temperatura constante de 60° C. Se trituraron hasta obtener un polvo fino que fue prensado para obtener pastillas de cada tipo de material de aproximadamente 0.16 g cada una (Figura 8). El contenido calórico de cada pastilla y tipo de muestra se midió en un calorímetro Semimicro Parr 1425 (calibrado con ácido benzoico) y se realizaron cinco repeticiones para cada muestra. Los valores de la energía despedida se registraron en calorías gramo y se transformaron a Joules con el factor de conversión de 1 caloría = 4.186 Joules (Lucas, 1996).



Figura 8. Elaboración de pastillas de alimento y heces.

VII.3. Evaluación del consumo de oxígeno, incremento de calor aparente y excreción nitrogenada

Con el fin de llevar a cabo la evaluación del efecto del alimento en intensidad, se realizó la medición del consumo del volumen de oxígeno respecto a la biomasa en peso seco por hora ($VO_2/W = \text{mg } O_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ p.s.}$) y el volumen de la excreción nitrogenada con respecto al peso seco por hora ($U/W = \text{mg } NH_3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ p.s.}$). Lo anterior se determinó en una instalación respirométrica dinámica (Figura 8) basada en el mismo principio que en la descrita por Díaz-Iglesias y Martínez (1975). En dicha instalación se colocaron 12 cámaras o jaulas metabólicas acuáticas de 1,000 ml (Figura 9), las cuales estuvieron conectadas a un flujo de agua a presión constante proveniente de un sistema de circulación abierto y a temperatura ambiente. Para cada cámara se realizó la regulación del débito o salida de agua, fijándose en 100 ml/45 seg, es decir, 8 l/hora.

La medición de oxígeno disuelto en el agua se realizó con un oxímetro YSI modelo 52 cuyo electrodo se fijó dentro de un dispositivo cerrado y se permitió fluir muestras de agua de la entrada general y salida de cada cámara por hora, esto para evitar variaciones en el contenido de O_2 (Figura 10). El oxígeno consumido por los organismos se obtuvo de la diferencia entre el volumen a la entrada menos el volumen a la salida y se expresó en miligramos de O_2 consumido a la hora por gramo de peso seco ($\text{mg de } O_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ de p.s.}$). La lectura de O_2 disuelto se convirtió a sus equivalentes calóricos con el factor de $3.53 \text{ cal} \cdot \text{mg}^{-1}$ de oxígeno consumido (Elliot y Davison, 1975).

La excreción nitrogenada se obtuvo de forma simultánea a la de consumo de oxígeno (Figura 11). Se tomaron muestras iniciales y finales de agua (10 ml) de cada cámara y el contenido de amoníaco se determinó mediante el método químico azul de indofenol descrito por Rodier (1980). Los resultados se expresaron en mg de NH_3 producido a la $\text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ p. s.}$ y se convirtieron a sus equivalentes calóricos mediante el uso del factor de $5.73 \text{ cal} \cdot \text{mg}^{-1}$ de NH_3

excretado. Oxígeno consumido y excreción nitrogenada fueron transformados a joules con el factor de conversión de $4.186 \text{ J} = 1 \text{ cal}$ (Lucas, 1996), se multiplicaron por 24 para obtener los resultados por día y finalmente se calcularon los promedios de las ocho horas de experimentación para cada langosta.

Debido a que el número de cámaras máximo por sesión en el respirómetro es de 12, se dividió al grupo experimental en dos partes correspondiendo cada una al tipo de alimento. Se colocaron los animales en ayuno de 72 horas en cada una de las cámaras, 12 horas antes de iniciar el experimento. Se mantuvo una cámara sin animal, como control de la actividad metabólica del plancton circulante.

El experimento inició a las 8:00 horas, tomando en cuenta los resultados obtenidos del ritmo biológico para esta especie (Díaz-Iglesias, 2004). Inmediatamente se les proporcionó alimento y se procedió a tomar las muestras de agua a la entrada y salida de las cámaras cada hora, durante las siguientes 6 horas, para determinar consumo de oxígeno y excreción nitrogenada postalimentaria. Se mantuvieron los animales dentro de las cámaras hasta el día siguiente, con la finalidad de tomar muestras en condiciones naturales de ayuno, a las 8:00 y 9:00 horas.

Finalmente se calculó el incremento de calor aparente (ICA) para cada tipo de dieta, el cual se obtuvo como la diferencia entre el valor de consumo de oxígeno más alto de los organismos recién alimentados y el valor del consumo sin alimentar o en ayuno.

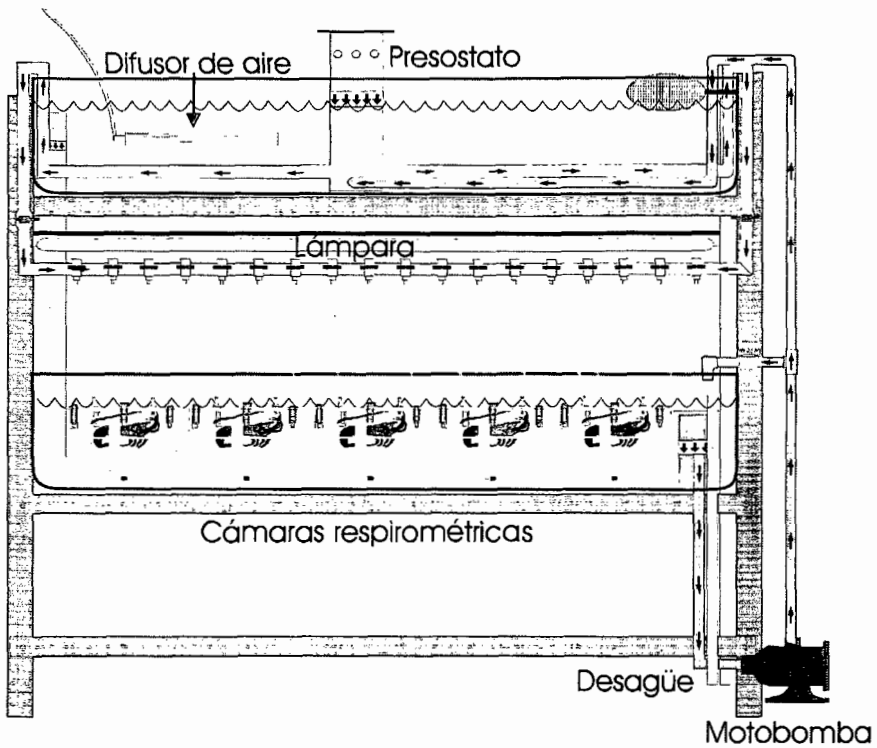


Figura 9. Esquema de la instalación del respirómetro dinámico. En naranja, el flujo de agua bombeado hacia el presostato; en amarillo, el flujo de agua distribuido a partir del presostato a cada una de las cámaras.

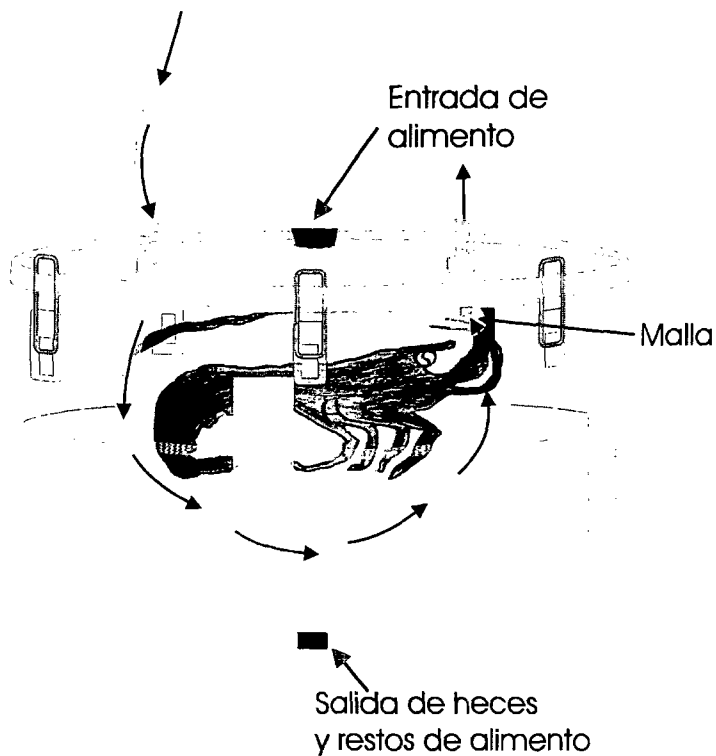


Figura 10. Cámara respirométrica. Las flechas muestran el sentido de la circulación del agua.

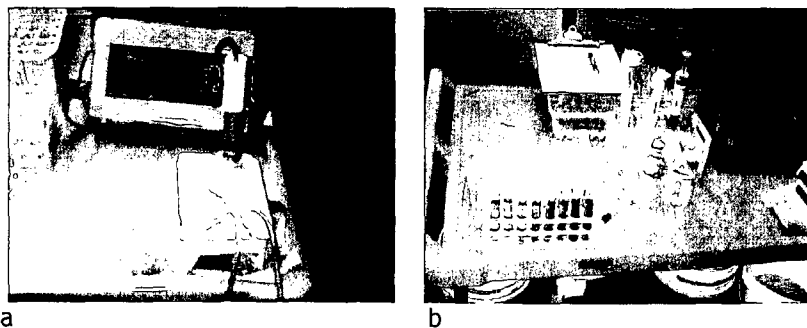


Figura 11. Toma de muestras de agua para el registro del consumo de oxígeno (a) y excreción nitrogenada (b).

VII.4. Determinación del sustrato metabólico

Se calculó, la relación atómica O:N, es decir, oxígeno consumido y nitrógeno amoniacal producido ambos convertidos en microátomos-gramos (Dall, 1986). Este es un indicador metabólico del sustrato que está siendo oxidado preferentemente por el organismo para la obtención de energía según la escala propuesta por Mayzaud y Conover, (1988) (Figura 5). Para calcular esta relación se tuvo en cuenta que 1 mg de O₂ = 62.5 microátomos-gramos y 1 mg de N = 48.5 microátomos-gramos por lo tanto: mg de O₂ * 62.5/mg de NH₄ * 48.47 (Dall, 1986).

VII. 5. Determinación del campo de crecimiento

El campo de crecimiento (P) es igual a la diferencia entre la energía ingerida (C) y la suma de los gastos destinados a la respiración (R), incremento de calor aparente (ICA), producción de heces (F) y excreción nitrogenada (U) (Lucas, 1996). Ecuación que se expresa de la siguiente forma:

$$P = C - (R + ICA + F + U)$$

VII.6. Análisis estadístico

Se realizaron pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza a los datos de cada una de las variables del balance energético, se presentaron diferencias significativas, por lo tanto, se realizaron comparaciones múltiples con la prueba de Student-Newman-Keuls. Se calcularon las ecuaciones de regresión y los coeficientes de determinación correspondientes para expresar la tasa de consumo de alimento en función del peso o edad. En los casos que no se cumplieron los supuestos paramétricos se utilizó la prueba de análisis de varianza de una vía (ANOVA) no paramétrica de Kruskal-Wallis y la comparación entre medias se analizó por medio de la prueba de Dunn (Zar, 1999).

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VIII.1 Comportamiento alimenticio

Después de evaluar el consumo de alimento que fue aumentando en porcentaje con respecto a la biomasa húmeda de cada langosta, se obtuvo, que entre el 15 y 22 % era la cantidad adecuada para obtener la diferencia entre alimento suministrado y los restos no consumidos. A su vez, fue posible determinar el porcentaje de alimentación neto o ración máxima con respecto a la biomasa húmeda. Se concluye que los juveniles de esta especie, en el rango de pesos que van de 29 hasta 154 g y en nuestras condiciones de laboratorio, requieren alimento en un porcentaje de alimentación de entre 3.4 y 13.7 % con respecto a su biomasa y se recomiendan raciones por langosta de entre 3.4 y 11.1 gramos para ambas dietas. Kittaka y Booth (2000^b) informan de porcentajes de alimentación muy similares, de entre 1 a 15 % y recomiendan raciones por langosta de entre 3 y 11 gramos de manera general para juveniles de langostas espinosas.

El porcentaje de alimentación para los juveniles de langosta roja muestra una relación inversa al peso, es decir, los animales pequeños (menor peso y talla) consumen más alimento por unidad de peso específico que los más grandes. Klekowski y Duncan (1975), Díaz-Iglesias (1988) y Lucas (1996), indican que la tasa metabólica determina los requerimientos calóricos del metabolismo energético y estos se atenúan ontogénicamente, es decir, en la misma medida que el animal crece hay una disminución del índice de actividad que se ve reflejado en el consumo de alimento.

Respecto a la frecuencia de alimentación, se observó que el primer día comieron todo el alimento y al segundo día no consumieron, los días sucesivos se comportaron de igual manera. Con el fin de obtener información mas concreta, se decidió proceder a la alimentación alternada, es decir, un día sí y un día no, durante dos semanas. Se observó que las langostas tomaban su alimento inmediatamente y consumían hasta saciarse. No se conocen datos

precisos a cerca de la frecuencia de alimentación. En este caso, fue posible determinar que la alimentación alternada (un día sí y uno no) es la más adecuada para esta especie en nuestras condiciones de laboratorio y que efectivamente esta langosta se alimenta principalmente por la noche, como ha sido informado por Vega-Velásquez *et al.*, (1996) y Ayala *et al.*, (1988). El contenido de humedad para el calamar fue de 82.71 % y de 75.89 % para el mejillón, similar al que informa el Larousse de la Dietética y la Nutrición (2004) con 79.4 % para calamares y de 71.4 % para mejillones.

El seguimiento de los factores abióticos durante el periodo experimental permite detectar condiciones que influyen significativamente en la actividad metabólica y de comportamiento de los organismos, como son las variaciones en la presión parcial del oxígeno, temperatura, salinidad, la luminosidad, así como, exceso de materia orgánica disuelta como lo mencionan Klekowski y Duncan (1975), Díaz-Iglesias (1988) y Lucas (1996). Las variaciones de dichos factores durante el periodo experimental con máximos y mínimos no difieren drásticamente de la media (Cuadro 2). Se respetaron rigurosamente los periodos de 12 horas luz y 12 horas de oscuridad y la calidad de agua se mantuvo aceptable.

Cuadro 2. Seguimiento de los factores abioticos durante el periodo experimental.

| Factores abioticos | Media | Error Stand. | Mínimo | Máximo |
|------------------------|-------|--------------|--------|--------|
| Temperatura (°C) | 19.2 | 0.10 | 18.7 | 21.7 |
| Salinidad (‰) | 35.8 | 0.05 | 35 | 36 |
| Oxígeno disuelto (ppm) | 6.92 | 0.15 | 6.3 | 7.53 |

VIII.2. Consumo de alimento y producción de heces

La cantidad de energía consumida por las langostas fue de $669.9 \text{ J} \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ p.s.}$ con mejillón, y $524.1 \text{ J} \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ p.s.}$, no observándose diferencia significativa en el consumo de ambos tipos de alimento ($P > 0.05$) (Cuadro 5). No obstante, el mejillón estimuló más el consumo de alimento (1.3 veces) que el calamar. Los análisis de regresión y el cálculo del coeficiente de determinación (R^2), para ambas dietas naturales, permiten apreciar que estadísticamente en el caso del mejillón el 53 % de la variación en el consumo se debe a la diversidad en pesos de los animales (Figura 12). Podríamos hablar de manera conservadora que este porcentaje de asociación esta relacionado con la adaptación alimenticia que estos animales presentan en el medio natural, debido a que, en particular los bivalvos, son preferidos entre otros alimentos por la mayoría de langostas espinosas como lo señalan Kittaka y Booth (2000^b).

Sin embargo, respecto al calamar, solamente el 36 % de la variación en el consumo esta explicada por el peso (Figura 12). Díaz-Arredondo y Guzmán (1995), observaron que las variaciones estacionales en el medio natural alteran los patrones de alimentación de esta especie, al parecer asociado a las fluctuaciones en la abundancia de los grupos del bentos, lo cual se refleja en una conducta oportunista en la búsqueda de alimento que puede ir de carnívora a carroñera. El calamar por tratarse de un molusco cefalópodo de hábitos neríticos, pudiera ser ingerido ocasionalmente al consumir carroña cuando yace muerto y no constituir una entidad representativa en su dieta en el medio natural, lo cual se ve reflejado en el laboratorio. Es conveniente realizar posteriores estudios en los cuales los periodos de observación sean mayores, con el fin de identificar las variaciones en el comportamiento de los organismos debidas a la dieta o a otros factores.

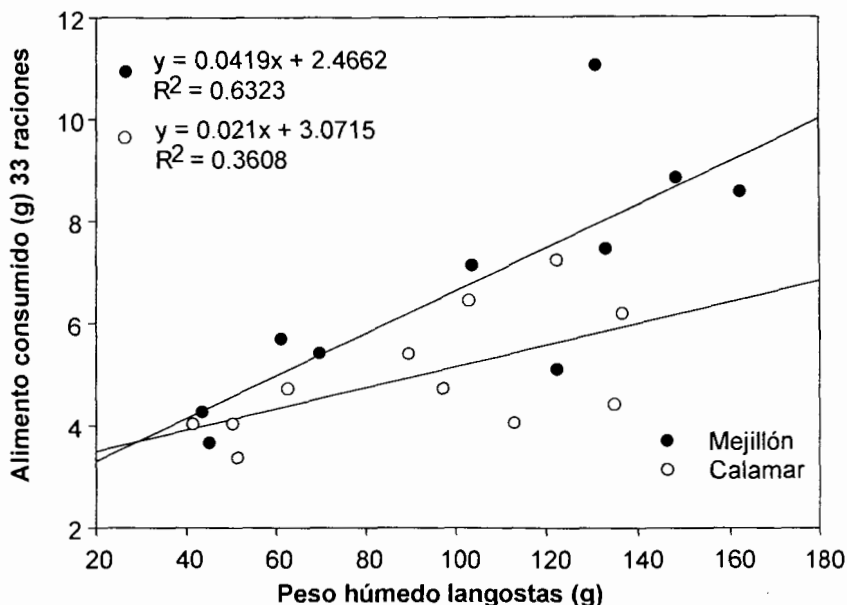


Figura 12. Relación entre la cantidad de alimento consumido de cada dieta y el peso de las langostas.

La cantidad de energía que se perdió en las heces fue de 18.3 y de 26 J · día⁻¹ · g⁻¹ p.s. ($p > 0.05$) (Cuadro 5), que equivalen a 3.5 % y 3.9 % para calamar y mejillón respectivamente (Figura 13). Pérdidas superiores de energía en las heces se han informado para otras especies de crustáceos, sin embargo, la diferencia entre los resultados para *P. interruptus* con respecto a los obtenidos por otros autores (cuadro 6) pudieran deberse a la calidad o el tipo alimentos proporcionados, ya que en la mayoría de los casos son empleadas dietas balanceadas con contenidos proteicos predeterminados, así como, de otros elementos que repercuten en la cantidad de heces como son las fibras dietéticas. En este aspecto Barón *et al.*, (1994) mencionan que la energía contenida en las heces de *Procambarus clarkii* guarda una relación directa con respecto al contenido de proteína en la dieta. En contraste, Villarreal (1991),

en *Cherax tenuimanus* observo una relación inversa con el tamaño de los organismos, con la calidad del alimento ingerido y con el contenido de proteína en la dieta. Es por tanto conveniente considerar realizar futuros estudios con dietas cuya composición sea plenamente conocida y a los cuales puedan adicionarse marcadores que sean detectados en las heces para determinar el ciclo de defecación y establecer horarios de muestreo (Klekowski y Duncan, 1975), de esta forma se podrá posible pérdida de material (Díaz-Iglesias, 1988; Klekowski y Duncan, 1975) debido a su destrucción por movimientos bruscos del animal o la coprofagia.

VIII.3 Consumo de oxígeno, incremento de calor aparente y excreción nitrogenada

La energía derivada al metabolismo respiratorio de rutina en los juveniles alimentados con calamar fue de 78.7 y de 34 J · día⁻¹ · g⁻¹ p.s. para mejillón (Cuadro 5), 15 % y 5.1 % respectivamente (P < 0.001). Los organismos mantenidos a dieta de mejillón tuvieron valores inferiores en el metabolismo de rutina (2.2 veces), con respecto a los que consumieron calamar cuando se les alimento. Lo cual sugiere que las langostas alimentadas con mejillón conservaron más energía disponible para otros procesos fisiológicos tales como el crecimiento. Díaz-Iglesias (2001^{a, b, c}, 2002) encontró que los juveniles de *P. argus* alimentados con crustáceos produjeron la mayor respuesta metabólica, 1.6 veces más que en el caso de los pelecypodos (bivalvo) con una menor expresión, seguida de los gasterópodos y el alimento balanceado (45 % proteína) (Cuadro 4). Estos resultados respaldan que la adaptación natural de los organismos al mejillón facilita su digestión y no demanda gran inversión energética en su asimilación.

Diferencias significativas en el metabolismo de rutina entre tratamientos para otras especies, relacionadas con las demandas energéticas que metabólicamente requiere cada tipo de alimento para ser asimilado, así como, con el contenido proteico de cada dieta, fueron encontradas por Escalante (2001) para *Cherax quadricarinatus*, y Barón *et al.*, (1994) con *Procambarus clarkii*, entre otros autores (Cuadro 6). Las demandas energéticas entre especies en la respiración de rutina e incremento de calor aparente son muy variadas y sugieren diferencias en las adaptaciones metabólicas para la obtención de energía a partir del alimento y de sus características nutrimentales, las cuales cubrirán o resultaran deficientes a los requerimientos energéticos.

El efecto del alimento sobre la respiración indica el incremento de calor aparente (ICA) que fue de 95.4 J · día⁻¹ · g⁻¹ p.s (18.2 %) y 57.5 J · día⁻¹ · g⁻¹ p.s

(8.6 %), lo cual representa un aumento del 121 y 169 % con respecto al valor de ayuno para calamar y mejillón respectivamente (Cuadro 3). Se conoce que el ICA alcanza los valores más altos cuando el alimento que está siendo procesado posee un alto contenido proteico (Lucas, 1996). Sin embargo Beamish y Trippel (1990) observaron que los alimentos incompletos nutrimentalmente, provocan también valores elevados del ICA, debido a que actúan como un promotor del catabolismo proteico en espera de la obtención de energía metabólica.

En camarones peneidos Rosas (1996) señala que entre mayor sea el contenido proteico de la dieta mayor será el costo relacionado con las transformaciones mecánicas y bioquímicas del alimento y por lo tanto el ICA alcanzará valores altos. En el caso de los animales que consumieron mejillón la proporción del incremento de calor aparente se elevó al 169 % del valor de ayuno sin observarse un aumento en la excreción nitrogenada como pudiera esperarse. Una causa probable de este fenómeno es que el trabajo mecánico realizado en la sujeción de la pieza y extracción de las partes blandas del mejillón requirió mayor inversión de energía y por lo tanto se incrementa el consumo de oxígeno. El mejillón siempre se les proporcionó fresco y en su concha. En este caso, un consumo de oxígeno mayor, no necesariamente tiene que ir acompañado de un incremento en la excreción nitrogenada generada por alguna de las causas mencionadas por Beamish y Trippel (1990) como causa de desaminación.

Situación similar fue observada por Díaz-Iglesias (2001^b) al alimentar juveniles de *P. argus* con el bivalvo *Littorina mespillum* (Pelecypoda) debido a que el trabajo de extracción de las partes blandas de este gasterópodo elevó el consumo de oxígeno y no así la excreción nitrogenada (Cuadro 4). En el caso del calamar siempre fue cortado en trozos pequeños y no representó mayor trabajo al tomarlo, sin embargo, este alimento produjo un ICA relacionado con el catabolismo proteico.

Durante el tiempo experimental se asignaron dos langostas como grupo control para cada dieta, sobre las cuales se efectuaron las mismas mediciones sin observarse participación significativa por las variaciones que pudieran presentarse en el metabolismo endógeno debido al ritmo biológico. La importancia de vigilar la respuesta endógena debida al ritmo biológico con respecto al consumo de oxígeno fue considerada en los trabajos bioenergética realizados por Díaz-Iglesias (2001^{a b c}, 2002, 2004) en juveniles *P. argus* alimentados con dietas naturales.

Cuadro 3. Consumo de oxígeno de los juveniles de *Panulirus interruptus* mantenidos durante 72 horas de ayuno y recién alimentados.

| | Tratamientos | |
|--|-----------------|-----------------|
| | Calamar | Mejillón |
| VO ₂ /W (J · día ⁻¹ · g ⁻¹ p.s.) | 78.7 (± 7.5) | 34 (±3.3) |
| En ayuno | | |
| ICA VO ₂ /W (J · día ⁻¹ · g ⁻¹ p.s.) | 95.4 (± 15) | 57.5 (± 5.4) |
| Recién alimentados | | |
| Aumento (%) después de ser alimentados | 121 | 169 |

La excreción nitrogenada fue de 56.8 para calamar, 8 veces mayor que para mejillón con 7.1 J · día⁻¹ · g⁻¹ p.s. (P<0.001) (Cuadro 5). Estos resultados sugieren el carácter preferentemente proteico del catabolismo en el caso del calamar y la eminente producción amoniacal a partir de la desaminación de sus proteínas. Beamish y Trippel (1990) señalan que la desaminación tiene lugar cuando:

- las proteínas son deficientes en aminoácidos esenciales,
- el balance de los mismos es pobre,
- hay un exceso de proteínas en la dieta,

- la dieta es insuficiente en contenido energético de lípidos y carbohidratos para soportar procesos corporales.

Díaz-Iglesias *et al.*, (2001^{a, b, c}, 2002) informan de valores máximos de excreción amoniaca cuando los juveniles de *P. argus* ingieren alimentos con alto contenido de proteína dietética (45 %) a diferencia de alimentos como bivalvos y crustáceos con valores significativamente inferiores. Sin embargo, encontraron que los gasterópodos producen los valores más bajos como se observaron a su vez para el mejillón con respecto al calamar (Cuadro 4). Otro punto a analizar, es que, probablemente el calamar sea un alimento incompleto nutrimentalmente, lo cual promueve el catabolismo proteico en espera de obtener energía metabólica como lo señalan Beamish y Trippel (1990) con respecto a la desaminación de las proteínas.

VIII. 4. Sustrato metabólico

Se conoce que el contenido proteico del calamar es de 16 % y de 1.1 % de lípidos (Larousse de la Dietética y la Nutrición, 2004). El índice de la relación atómica oxígeno - nitrógeno (O:N) con un valor de 6 denota que el sustrato metabólico utilizado del calamar fue principalmente proteico. Este es un indicador de la probable deficiencia en aminoácidos esenciales o del pobre balance de los mismos, así como, del insuficiente contenido energético de lípidos para soportar procesos corporales como lo mencionaran Beamish y Trippel, (1990), por lo tanto, menor proporción de proteínas es destinada al crecimiento.

El mejillón proporciona 20.2 % de proteína, superior en 1.3 veces al calamar y 2.8 % de lípidos, 2.5 veces más que el calamar (Larousse de la Dietética y la Nutrición, 2004). El valor de la relación O:N para este alimento fue de 21, que indica el catabolismo preferente de una mezcla de lípidos y proteínas. Se concluye que esta dieta es suficiente en contenido energético de lípidos para soportar procesos corporales que permiten la utilización más anabólica de las proteínas.

Valores similares a los obtenidos para *P. interruptus* al consumir mejillón han sido informados por Díaz-Iglesias *et al.*, (2001^{a,b,c}, 2002) para los juveniles de *P. argus* alimentados con pelecípoda con O:N de 20.4 y crustáceo con 21.7. En contraste las proteínas de una dieta balanceada (45 % de proteína) son utilizadas como sustrato energético por *P. argus* (Díaz-Iglesias *et al.*, 2002), similar al uso de las proteínas del calamar en el presente estudio (Cuadro 4). De igual forma la oxidación de una mezcla de lípidos y proteínas es la base del catabolismo en *Cherax quadricarinatus* para las dietas Rangen (35 % de proteína), Purina (32%) y Querax 1 (32 %) (Escalante, 2001; Meza, 2004).

Metabolismos no proteicos fueron encontrados a su vez para las postlarvas y juveniles del langostino malayo *Macrobrachium rosenbergii* debido a que al consumir las dietas Bolivac y Purina los valores de la relación O:N de

entre 25.50 a 46.82 revelaron la eficiente utilización de en primera instancia de carbohidratos, seguida de lípidos y en menor proporción de proteínas en ambos estadios (Díaz-Herrera *et al.*, 1992). Las variaciones en la relación O:N reflejan el tipo de sustrato metabólico oxidado, así como, la relación metabólica entre los animales y el alimento. Esta relación como un indicador relativo del catabolismo de proteínas, lípidos y carbohidratos puede variar con el estadio de desarrollo del organismo, el tipo de dieta y el grado de estrés fisiológico (Mayzaud y Conover 1988).

Los trabajos realizados por Díaz-Iglesias *et al.*, (1996, 2001^{a, b, c}, 2002, 2004) respecto al análisis bioenergético para juveniles de langosta espinosa del Caribe (*P. argus*) alimentadas con dietas naturales, sientan precedente para trabajos de esta naturaleza en otras especies en condiciones similares. En el estudio del balance energético para *P. interruptus* basamos nuestros experimentos en la experiencia de este autor modificando las condiciones de experimentación de acuerdo a su experiencia y bajo su supervisión. De tal forma que es posible presentar conjuntamente los resultados de ambos trabajos sin olvidar las diferencias en las respuestas metabólicas de ambas especies debido a las condiciones particulares de experimentación y características propias de los organismos (Cuadro 4). Los resultados de consumo de oxígeno, excreción nitrogenada y relación O:N se expresan en $J \cdot h^{-1} \cdot kg^{-1}$ de peso húmedo con el fin de poder apreciar la respuesta metabólica de ambas especies después de ser alimentadas con varios tipos de alimento natural.

La diferencia en la temperatura bajo la cual se llevó a cabo cada experimento podría determinar drásticamente la intensidad del metabolismo debido a que se ha observado que a mayor temperatura el metabolismo se intensifica como lo mencionan en sus trabajos Lucas (1996), Díaz-Iglesias (1988) y Klekowski y Duncan (1975) y Escalante (2001). Los trabajos experimentales de *P. argus* se llevaron a cabo a 25 °C y para *P. interruptus* a 22.1 °C (Cuadro 4). Así mismo la diferencia en las tallas de los organismos de ambas especies conlleva sus propias diferencias.

Cuadro 4. Análisis bioenergético en *P. argus* (a) (Díaz-Iglesias *et al.*, 2001^{a, b, c}, 2002) y *P. interruptus* (b) para las variables de consumo de oxígeno (VO₂/W), excreción nitrogenada (U/W) y relación O:N a temperaturas y dietas diferentes, expresados en J · h⁻¹ · g⁻¹ p.h. Las letras diferentes para *P. argus* indican la diferencia ($\alpha = 0.05$) entre medias, según la prueba de comparaciones múltiples de Duncan y las diferencias para *P. interruptus* mediante las pruebas de Dunn y Student-Newman-Keuls ($\alpha = 0.05$).

| Especie | Alimento | O ₂ /W | U/W | O:N |
|---|-----------------------------------|----------------------|---------------------|-----------------|
| a) <i>Panulirus argus</i> 25 ° C | Gasteropoda | 1,690.5 c | 178.4 c | 36.0 a |
| | Pelecípoda | 1,547.4 c | 392.4 b | 20.4 b |
| | Crustácea | 2,545.7 a | 440.9 b | 21.7 b |
| | Alimento balanceado 45 % proteína | 1,595.2 c | 1,166.8 a | 2.2 d |
| b) <i>Panulirus interruptus</i> 19.3 ° C | Mejillón | 453.8 b | 93.6 b | 21 a |
| | Calamar | 1048.9 a (P<0.05) | 757.9 a (P<0.05) | 6 b (P<0.05) |

Es posible realizar transformaciones de los resultados obtenidos para cada una de las variables de la ecuación del balance energético a diferentes temperaturas. Este ajuste se realiza mediante el procedimiento de Winberg (1956). Díaz-Iglesias *et al.*, (2004) determinaron que el preferendum térmico de los juveniles de *P. interruptus* es de entre 13.3 y 15.5 ° C. Al ajustar nuestros resultados a éstas temperaturas, los valores obtenidos equivaldrían aproximadamente un 49 % menos en cada una de las variables. Así mismo, al realizar el ajuste en relación con *P. argus* a 25 ° C, el aumento sería equivalente a 69 %. Este ajuste ha sido empleado en los trabajos realizados por Díaz-Iglesias *et al.*, (1996, 2001^{a, b, c}, 2002, 2004) con el fin de homogeneizar los resultados obtenidos a una sola temperatura.

VIII.5. Campo de crecimiento

El balance energético en los juveniles de *Panulirus interruptus* bajo ambos regímenes alimenticios, tomando como base el 100 % de la energía obtenida del alimento consumido, muestra que el 52.4 % ($274.8 \text{ J} \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ p.s.) del calamar fue derivada al campo de crecimiento (P) en tanto que del mejillón se derivó el 81.4 % ($543.3 \text{ J} \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ p.s.) (Cuadro 5). La suma de los gastos energéticos derivados a los otros componentes del balance energético representó el 47.6 % y el 18.6 %, de los cuales, F constituyó el 3.5 y 3.9 %, U el 10.8 y 1.1 %, R el 15 y 5.1 %, el ICA fue de 18.2 y 8.6 %, para calamar y mejillón respectivamente (Figura 13).

El mejillón se encuentra de forma natural en el espectro alimenticio de éstas langostas, así como, en la mayoría de las langostas espinosas (Kittaka y Booth, 2000^b). De acuerdo a los resultados obtenidos en cada una de las variables del balance energético se puede concluir que el mejillón suple los requerimientos bioenergéticos y metabólicos que favorecen en mayor proporción el crecimiento en los juveniles de *Panulirus interruptus*. Similar a lo observado en los juveniles de *P. argus* al ser alimentados con dietas naturales (gasteropoda, pelecipoda y crustácea) las cuales contienen la calidad proteica necesaria para ser utilizada en mayor proporción en el crecimiento (Díaz-Iglesias 2001^{a,b,c}).

A su vez, Crear *et al.*, (2002) encontraron que al alimentar a los juveniles de *Jasus edwardsii* (langosta roja de las rocas) de con dietas balanceadas para camarones y como control con el bivalvo *Mytilus edulis* (mejillón azul), aquellas langostas que consumieron el bivalvo crecieron al menos un 25 % más en comparación con las dietas balanceadas. Blanco y Fraga (2003) observaron las mejores tasas de crecimiento y supervivencia en juveniles de *Panulirus argus* alimentados con almeja, esquila y lombriz, en contraste con una dieta balanceada. Resultados similares obtuvieron Brett *et al.*, (2001) al alimentar con *M. edulis* a post-puérvulus de *Panulirus cygnus* (langostas espinosa

australiana) cuya tasa de crecimiento fue mayor que con la dieta balanceada. En el caso del calamar, las proteínas que éste provee, son utilizadas en gran proporción en el metabolismo energético y se destinan en menor proporción al crecimiento, por lo que el alimentar con este molusco conlleva un costo energético mayor en su aprovechamiento.

Estudios de bioenergética realizados en otros crustáceos alimentados con dietas naturales y balanceadas evidencian que éstas son aprovechadas de diferentes formas según la especie en estudio y la adaptación a cada tipo de como lo menciona Rosas (1996). El menor porcentaje de energía destinada al crecimiento se observa en *Cherax tenuimans* alimentados con 17 y 33 % de proteína, la inversión en el crecimiento fue de 48.1 y 41.7 % respectivamente, así mismo, *C. quadricarinatus* destina hasta el 94.5 % de la energía al crecimiento al consumir una dieta con 32 % diseñada especialmente para esta especie, lo cual, evidencia que la calidad de las proteínas determina su destino en el medio interno (Beamish y Trippel, 1990).

Cuadro 5. Distribución de la energía ingerida por juveniles de langosta roja *Panulirus interruptus*. Expresada en $J \cdot día^{-1} \cdot g^{-1}$ p.s. por tratamiento (media \pm error estándar). Las diferencias se obtuvieron mediante las pruebas de Dunn y Student-Newman-Keuls ($\alpha = 0.05$).

| Variables | Tratamientos | |
|-----------|---------------------------|---|
| | Calamar | Mejillón |
| C | 524.1 a (± 45.8) | 669.9 a (± 54.3) ($P > 0.05$) |
| F | 18.3 a (± 6.6) | 26 a (± 4.2) ($P > 0.05$) |
| U | 56.8 a (± 5.0) | 7.1 b (± 1.1) ($P < 0.05$) |
| R | 78.7 a (± 7.5) | 34 b (± 3.3) ($P < 0.05$) |
| I.C.A. | 95.4 a (± 15) | 57.5 b (± 5.4) ($P < 0.05$) |
| P | 274.8 b (± 37.5) | 545.3 a (± 51) ($P < 0.05$) |

Cuadro 6. Distribución porcentual de la energía obtenida del alimento consumido en las variables del balance energético realizado para diferentes especies de crustáceos con diferentes tipos de dietas.

| Especie | Estadio | Tipo de alimento | Porcentaje de proteína | Variables | | | | | Energía ingerida | O:N | Referencia |
|----------------------------------|-----------------|-----------------------|------------------------|-----------|------|------|------|------|------------------|-----|-------------------------------------|
| | | | | F | R | U | ICA | P | | | |
| <i>Panulirus interruptus</i> | Juveniles | Calamar Mejillón | 16% | 3.5 | 15.0 | 10.8 | 18.2 | 52.4 | 100 | 6 | Presente estudio |
| | | | 22% | 3.9 | 5.2 | 1.1 | 8.7 | 81.1 | 100 | 21 | |
| <i>Cherax quadricarinatus</i> | Juveniles | Dieta comercial | 32% | 4.5 | 15.7 | 1.1 | 18.2 | 60.4 | 100 | 23 | Escalante, (2001) |
| | | | 35% | 4.2 | 11.2 | 0.9 | 12.2 | 71.5 | 100 | 24 | |
| <i>Macrobrachium rosenbergii</i> | Juveniles | Dieta comercial | 28% | 3.1 | 3.8 | 0.0 | 0.2 | 92.9 | 100 | | Sierra y Díaz, (1999) |
| | | | 44% | 26.6 | 1.2 | 0.1 | 4.0 | 68.0 | 100 | 26 | |
| <i>Macrobrachium rosenbergii</i> | Juveniles | Dieta comercial | 38% | 8.6 | 1.4 | 0.2 | 3.2 | 86.7 | 100 | 37 | Díaz-Herrera <i>et al.</i> , (1992) |
| | | | 20% | 5.8 | 8.2 | 0.0 | 3.0 | 83.1 | 100 | | |
| <i>Procambarus darkii</i> | Dieta comercial | | 28% | 7.7 | 5.1 | 0.0 | 2.1 | 85.0 | 100 | | Barón <i>et al.</i> , (1994) |
| | | | 30% | 8.6 | 6.0 | 0.0 | 1.6 | 83.8 | 100 | | |
| | | | 35% | 10.0 | 11.6 | 0.0 | 2.9 | 75.4 | 100 | | |
| <i>Cherax tenuimanus</i> | Dieta comercial | | 17% | 14.0 | 34.2 | 3.6 | | 48.1 | 100 | | Villarreal, (1991) |
| | | | 33% | 16.7 | 36.9 | 4.6 | | 41.7 | 100 | | |
| | | | 48% | 13.3 | 26.1 | 3.1 | | 57.5 | 100 | | |
| <i>Cherax quadricarinatus</i> | Juveniles | Dieta comercial | 32% | 1.2 | 2.2 | 0.4 | 1.8 | 94.5 | 100 | | Meza, (2004) |
| <i>Litopenaeus stylirostris</i> | | Dieta comercial | 40% | 6.5 | 3.1 | 0.9 | 4.4 | 85.1 | 100 | | Re, (2004) |
| <i>Artemia franciscana</i> | | <i>Chaetoceros sp</i> | | 7.4 | 18.0 | 0.3 | 9.4 | 64.8 | 100 | | Olivares <i>et al.</i> , (1994) |

No se observaron diferencias significativas en la ganancia de peso para ambas dietas, lo que sugiere que el tiempo de observación pudiera no haber sido lo necesario para registrar suficientes eventos de muda y denotar crecimiento significativo (Cuadro 7).

Cuadro 7. Peso promedio inicial y final, y ganancia de peso húmedo y seco en gramos (media \pm error estándar). Las diferencias se obtuvieron mediante la prueba Student-Newman-Keuls ($\alpha = 0.05$).

| Dieta | Peso Inicial | | Peso final | | Ganancia de peso | |
|----------|-----------------|----------------|------------------|----------------|------------------|-------|
| | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco |
| Calamar | 87.2 \pm 11.4 | 27.9 \pm 3.6 | 91 \pm 10.5 | 29.1 \pm 1.4 | 3.8 a | 1.2 a |
| Mejillón | 98.9 \pm 13.2 | 31.6 \pm 4.4 | 101.8 \pm 13.9 | 32.6 \pm 4.1 | 2.9 a | 0.9 a |

Los estudios del balance energético como el realizado para los juveniles de *Panulirus interruptus*, representan un método útil para describir y explicar el estado fisiológico de los organismos en estudio, así como, para determinar el efecto de diferentes dietas sobre el campo de crecimiento. Los resultados obtenidos en el presente trabajo podrán servirán como referencia que incrementará la posibilidad de cultivar esta especie de tal importancia económica en México.

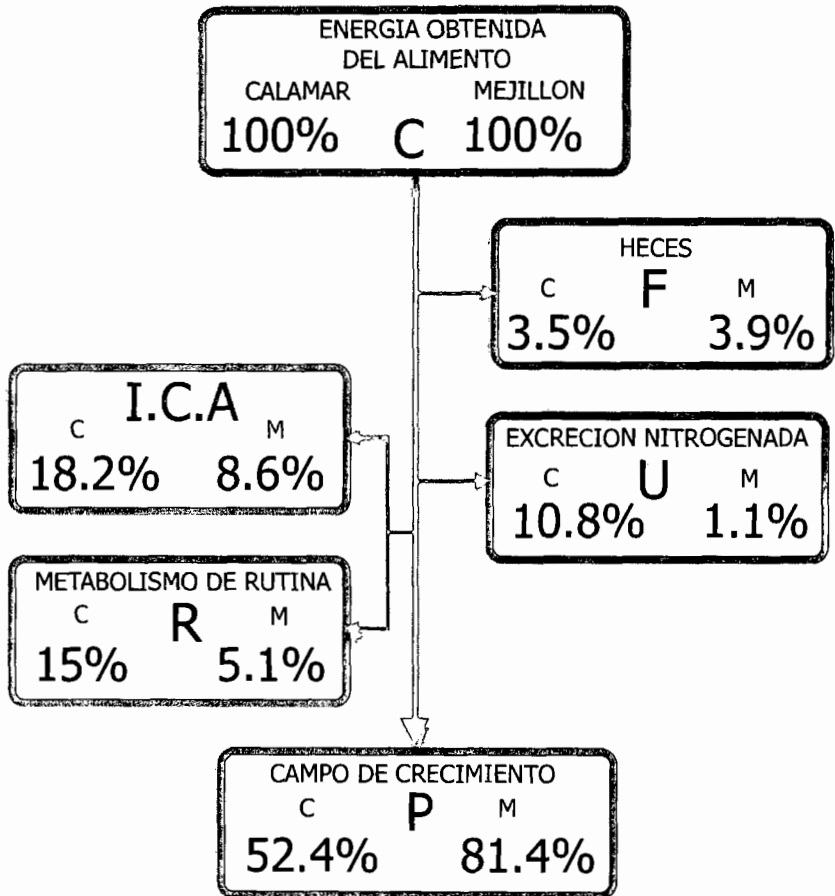


Figura 13. Distribución porcentual de la energía obtenida del calamar (C) y mejillón (M) en los diferentes componentes de la ecuación del balance energético de los juveniles de *Panulirus interruptus*.

IX. CONCLUSIONES

- Los juveniles de *P. interruptus*, dentro del rango de pesos que van de 29 hasta 154 g y en nuestras condiciones de laboratorio, presentan un porcentaje de alimentación de entre 3.4 y 13.7 % con respecto a su biomasa y se recomiendan raciones por langosta de entre 3.4 y 11.1 gramos para ambas dietas
- Para esta especie y en nuestras condiciones de laboratorio, la alimentación alternada (un día sí y otro no) por la noche, resultó ser la más adecuada.
- El coeficiente de determinación indica que el 68 % de la variación en el consumo de mejillón se debe a la diversidad en pesos de los animales, lo que sugiere una preferencia natural por este bivalvo.
- Solo el 36 % de la variación en el consumo de calamar esta explicada por el peso.
- La relación O:N indica que las proteínas del calamar fueron canalizadas en gran medida al metabolismo energético (R e ICA), así como, se observaron mayores pérdidas en la excreción amoniacal, lo que trajo como consecuencia menor cantidad de energía derivada hacia campo de crecimiento.
- Las proteínas del mejillón fueron destinadas preferentemente hacia el crecimiento utilizando como sustrato energético una mezcla de lípidos y proteínas que permitieron soportar el metabolismo energético con menor proporción de gastos (R e ICA) y menor excreción nitrogenada.
- El mejillón como alimento cubre los requerimientos energéticos necesarios para los procesos metabólicos por lo que representa una mejor opción que pudiera contribuir como referencia para la alimentación de esta especie en laboratorio, maricultivo y en la formulación experimental de dietas balanceadas.
- El calamar resulta ser muy costoso energéticamente en su asimilación por lo que no suple adecuadamente los requerimientos energéticos de esta especie.

X. RECOMENDACIONES

Realizar el balance energético con otras dietas.

Ampliar los periodos de observación para la obtención de información de los ciclos de alimentación y defecación, así como de las tasas de crecimiento.

XI. LITERATURA CITADA

1. Atlas Pesquero de México. 1994. Secretaría de pesca, Instituto Nacional de la Pesca. 61 pp.
2. Ayala, M. A., J. A. González y G. C. Espinoza. 1988. Biología y pesca de langosta en el Pacífico mexicano. En: Los recursos pesqueros del país. Secretaría de Pesca. Instituto de pesca. México. 251-286 pp.
3. Barón, S. B., F. H. Díaz, y F. L. R. Bückle. 1994. Energy Budget for the red swamp crawfish *Procambarus clarkii* (Crustacea, Cambaridae). *Revista Italiana Acquacoltura*. 29:103-107
4. Beamish, F. y E. Trippel. 1990. Heat increment: a static or dynamic dimension in bioenergetic models?. *Transactions of the American Fisheries Society*, 119: 649-661.
5. Blanco, W. y I. Fraga. 2003. Crecimiento y supervivencia de juveniles de Langosta (*Panulirus argus*) utilizando diferentes tipos de alimentos. II Congreso Internacional Virtual de Acuicultura (CIVA). (<http://www.civa2003.org>):1006-1014
6. Bodkin, J. L. and L. B. Browne. 1992. Molt frequency and size-class distribution in the California spiny lobster (*Panulirus interruptus*) as indicated by beach-cast carapaces at San Nicolas Island, California. *Calif. Fish Game*, 78(4): 136-144
7. Brett, G., M. Smith, J. Curnow, D. Smith, and K. Williams. 2001. The dietary protein and lipid requirements of post-puerulus western rock lobster, *Panulirus cygnus*. *Acuaculture*. 199(1-2):119-129.
8. Briones-Fourzán, P. and E. Lozano-Álvarez. 2000. The spiny lobster fisheries in Mexico. In: *Spiny Lobsters Fisheries and Culture*. Ed. by Kittaka, J. and Phillips, B. F. Fishing News Books. Oxford . Pags. 169-188
9. Buesa, R. J. 1979. Oxygen consumption of two tropical spiny lobster *Panulirus argus* (Latreille, 1804) and *P. guttatus* (Latreille, 1804) (Decapoda, Palinuridae). *Crustaceana*. 36(1):99-107

10. Cobb, J. S. and B. F. Phillips. 1980. The biology and management of lobsters. Vol. II. Academic Press. U. E. A. 43 pp.
11. Conceição, R. N., E. Díaz-Iglesias, R. Brito-Pérez y M. Baéz-Hidalgo. 1996. Bioenergética de juveniles de la langosta *Panulirus argus* (Latreille, 1804). Efectos del ayuno prolongado. Arq. Cien. Mar. Fortaleza. 30(1-2):49-53.
12. Crear, B., P. Hart, C. Thomas and M. Barclay. 2002. Evaluation of comercial shrimp grow-out pellets as diets for juvenile southern rock lobster, *Jasus edwardsii*. influence on growth, survival, colour, and biochemical composition. Journal of Applied Aquaculture. 12(3):43-57.
13. Dall, W. and M. D. Smith. 1986. Oxygen consumption and ammonia-N excretion in fed and starved tiger prawns, *Penaeus esculentus* Haswell. Aquaculture, 55(1): 23-34
14. Díaz-Arredondo, M. y S. Guzmán del Prío. 1995. Hábitos alimentarios de la langosta *Panulirus interruptus* (Randall, 1840) en bahía Tortugas, Baja California Sur. Ciencias Marinas 21(4):439-462.
15. Díaz-Herrera, F., G. Juárez-Castro, E. Pérez-Cruz y L. F. Bückle-Ramírez, 1992. Balance energético de postlarvas y juveniles del langostino malayo *Macrobrachium rosenbergii* de Man (Crustacea: Palaemonidae). Ciencias Marinas 18(2):19-32.
16. Díaz-Iglesias, E. 1988. Cap. 2. Nutrición y metabolismo: Crustáceos y peces. En: Aspectos de la fisiología de animales acuáticos. Pueblo y Educación. Cuba. 119 pp.
17. 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(1):101-112.
18. Díaz-Iglesias, E., F. Díaz-Herrera, M. López-Zenteno, G. Valdéz-Sánchez, A. K. Robles-Murillo y A. D. Re-Araujo. 2004. Temperatura preferida y consumo de oxígeno circadiano de juveniles de langosta roja, *Panulirus interruptus* (Randall, 1842). Ciencias Marinas, 30(1B):169-178.

19. Díaz-Iglesias, E. y A. O. Martínez. 1975. Instalación respirométrica para el estudio de la acción de diversos agentes presentes en el agua de mar. *Investigaciones Marinas*. 18 (8):1-5
20. Díaz-Iglesias, E., R. Brito y M. Báez-Hidalgo. 1991. Cría de postlarvas de langosta *Panulirus argus* en condiciones de laboratorio. *Revista de Investigaciones Marinas, Universidad de la Habana*. 12(1-3):323-331
21. Díaz-Iglesias, E., R. Adriano, M. Báez-Hidalgo y F. Nodas. 2001^a. Análisis bioenergético de la alimentación natural en juveniles de la langosta común *Panulirus argus* (Latreille, 1804): 1. Pelecypoda. *Revista de Investigaciones Marinas, Universidad de la Habana*. 22(1):19-26.
22. Díaz-Iglesias, E., R. Adriano, M. Báez-Hidalgo y F. Nodas. 2001^b. Análisis bioenergético de la alimentación natural en juveniles de la langosta común *Panulirus argus* (Latreille, 1804): 1. Gasteropoda. *Revista de Investigaciones Marinas, Universidad de la Habana*. 22(1):27-32
23. Díaz-Iglesias, E., R. Adriano, M. Báez-Hidalgo y F. Nodas. 2001^c. Análisis bioenergético de la alimentación natural en juveniles de la langosta común *Panulirus argus* (Latreille, 1804): 1. Cruatacea. *Revista de Investigaciones Marinas, Universidad de la Habana*. 22(1):33-38.
24. Díaz-Iglesias, E., R. N. Conceição, R. Brito-Pérez y M. Baéz-Hidalgo. 1996. Consumo de oxígeno y excreción de amoníaco de juveniles de langosta *Panulirus argus* (Latreille, 1804) alimentados con dieta natural: Incremento de calor aparente y relación O:N. *Revista de Investigaciones Marinas, Universidad de la Habana*. 17(1):51-58.
25. Elliot, J. M. and W. Davison, 1975. Energy equivalents of oxygen consumption in animal energetics. *Ecología*. 19:195-201
26. Escalante, A. G. 2001. Fisiología energética de *Cherax quadricarinatus*. Efecto de la temperatura y dietas. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICIESE). 41 pp.
27. Guzmán-Del Próo, S., J. Carrillo-Laguna, J. Belmar-Pérez, S. De la Campa, y A. Villa. 1996. The puerulus settlement of red spiny lobster (*Panulirus*

- interruptus*) in Bahía Tortugas, Baja California, Mexico. *Crustaceana*. 69(8):949-957.
28. Herrera, A., D. Ibarzábal, J. Foyo, y J. Espinosa. 1991. Alimentación natural de la langosta *Panulirus argus* en la región de los Indos (Plataforma SW de Cuba) y su relación con el bentos. *Revista Investigaciones Marinas*. 12:172-182.
29. Jeffs, A. and M. Davis. 2003. An Assessment of the aquaculture potential of Caribbean spiny lobster, *Panulirus argus* Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute. 54:413-426.
30. Kittaka, J. and D. J. Booth. 2000^a. Prospectus for Acuculture. En: Kittaka, J. and F. B. Phillips. Spiny Lobsters Fisheries and Culture. Fishing News Books. Inglaterra. Pags. 465 – 473.
31. Kittaka, J. and Booth, J. D. 2000^b. Spiny lobster growout. En: Kittaka, J. and F. B. Phillips. Spiny Lobsters Fisheries and Culture. Fishing News Books. Inglaterra. Pags. 556 - 585.
32. Kittaka, J. 1990. Culture of spiny lobsters from egg to puerulus stagf. Memorias del taller internacional sobre ecología y pesquerías de langostas. La Habana, Cuba. Pags. 12-16.
33. Klekowski, R. Z. and A. Duncan, 1975. Physiological approach to ecological energetics. En: Grodzinski, W., R. Z. Klekowski and A. Duncan. Methods for Ecological Bioenergetics. IBP Handbook No. 24. Blackwell Scientific Publications. Oxford. Pags. 15-64.
34. Larousse de la Dietética y la Nutrición. 2004. Barcelona. 232 pp.
35. Lipcius, R. and D. Eggleston. 2000. Ecology and Fishery Biology of Spiny Lobsters. In: Kittaka, J. and Phillips, B. F. Spiny Lobsters Fisheries and Culture. Fishing News Books. Inglaterra. 19 pp.
36. Lucas, A. 1996. Bioenergetics of Aquatic Animals. Taylor and Francis Publications. Gran Britain. 169 pp.

37. Martin, J.W. and E. G. Davis. 2001. An updated classification of the recent Crustacea. Natural History Museum of Los Angeles County. Science Series. (39):124
38. Mayzaud, P. and R. J. Conover. 1988. O:N atomic ratio as a tool to describe zooplankton metabolism. Marine Ecology Progress Series. 45: 289-302
39. Meza, C. V. 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. Tesis de Oceanólogo, Facultad de Ciencias Marinas, UABC. 57 pp
40. Morowitz, H. J. 1968. Energy flow in biology. Academic Press. London. 179 pp.
41. Nelson, C. S. and A. W. Knight. 1977. Ecological energetics and its application to the evaluation of diets for aquatic species, with special regard to the giant malaysian prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. Annal. Meeting Worldl Mar. Soc. Proc 8.: 779-785
42. Norma Oficial Mexicana NOM-006-PESC-1993. Para regular el aprovechamiento de todas las especies de langosta en aguas de jurisdicción federal del Golfo México, Mar Caribe, Océano Pacífico y Golfo de California.
43. Olivares, G. E., L. F. Bückle-Ramírez and Díaz-Herrera, F. 1994. An energy budget for *Artemia franciscana* under laboratory conditions. International Journal of Salt Lake Research. 3:1-7
44. Pandian, T. J. and J. F. Vernberg. 1987. Crustacea. Cap. 9. En: Animal energetics. Vol. 1. Protozoa through Insecta. Academic Press. U.S.A. 301 pp.
45. Re, A. D., F. Díaz-Herrera, E. Sierra y S. Gómez-Jiménez. 2004. Consumo de oxígeno, excreción de amonio y capacidad osmorreguladora de *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson) expuesto a diferentes combinaciones de temperatura y salinidad. *Ciencias Marinas*. 30(3): 443-453.
46. Rodier, J. 1980. Análisis de las aguas. Omega, Barcelona, 1059 pp.
47. Rosas, V. C. 1996. Bioenergética de camarones peneidos: una forma de comprender los mecanismos fisiológicos involucrados en la nutrición. Avances

en Nutrición Acuícola III. Cap. II. En: Memorias del Tercer Simposium Internacional de Nutrición Acuícola, del 11 al 13 de Noviembre de 1996, UANL, Monterrey, Nuevo León, México.

48. SAGARPA. 2002. Anuario estadística de pesca 2002.

49. Sierra, E. y F. Díaz-Herrera. 1999. Dynamic bioenergetics of postlarvae and juveniles of *Macrobrachium rosenbergii* caused by unilateral eyestalk ablation. J. Aqua. Trop. 14(2):113-119

50. Vega-Velásquez, A., G. C. Espinoza y C. R. Gómez. 1996. Pesquería de la langosta (*Panulirus* spp.). En: Casas V. M., y G. Ponce D. (Eds.). Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur. Vol. II. SEMARNAP, Gobierno del Estado de Baja California Sur, FAO, UABCS, CIBNOR, CICIMAR. Instituto Nacional de la Pesca y CETMAR 227-261.

51. Villareal, H. 1991. A partial energy budget for the australian crayfish *Cherax tenuimanus*. Journal of the World Aquaculture Society. 22(4):254-257

52. Winberg, G. G. 1956. Rate of metabolism and food requeriments of fishes. Fish. Res. Bd. Canada. Tras. Ser. (194)202

53. Zar, J. H. 1999. Biostatistical análisis. Prentice-Hall, London. 718 pp.