

Centro de Investigacion Cientifica y de
Educacion Superior de Ensenada

EFFECTO DE LA ABLACION DEL PEDUNCULO
OCULAR SOBRE EL CAMPO DE CRECIMIENTO
DE *Procambarus clarkii* GIRARD
-DECAPODACAENARIDAD-

TESIS
MAESTRIA EN CIENCIAS

ELIZABETH SIERRA LIRIBE

Ensenada, Baja California, Mexico. Diciembre 1994.

RESUMEN de la tesis de Elizabeth Sierra Uribe presentada como requisito parcial para la obtención del grado de **MAESTRO EN CIENCIAS** en **OCEANOLOGÍA** con opción en **ECOLOGÍA MARINA** Ensenada, Baja California, México. Diciembre de 1994.

**EFFECTO DE LA ABLACIÓN DEL PEDÚNCULO OCULAR SOBRE EL
CAMPO DE CRECIMIENTO DE *Procambarus clarkii* (GIRARD)
(DECAPODA:CAMBARIDAE)**

Resumen aprobado por:

Se realizó la ablación unilateral y bilateral del pedúnculo ocular a adultos de *Procambarus clarkii* para evaluar su efecto sobre el campo de crecimiento utilizando los componentes del balance energético, los índices de crecimiento bruto y neto y la relación atómica oxígeno:nitrógeno.

El porcentaje de sobrevivencia de los animales con ablación total unilateral (ATU) disminuyó un 9% mientras que en los animales con ablación total bilateral (ATB); de manera espaciada (ATBa) o simultánea (ATBb) disminuyó a un 45% y 50%, respectivamente. Estos porcentajes de sobrevivencia apoyan el que solamente se recomiende utilizar la ablación unilateral del pedúnculo ocular para incrementar el campo de crecimiento en *Procambarus clarkii*.

La tasa de ingestión del alimento en los animales ablacionados tuvo un incremento significativo de 5% en relación con los normales. El gasto energético en el metabolismo respiratorio de rutina y en la producción de amoniaco en las hembras y machos ablacionados fueron significativamente menores que en los normales. El incremento en la tasa metabólica seguida a la ingestión de alimento fue 8.6% mayor en ambos sexos de los animales normales que en los ablacionados.

El consumo de oxígeno de *Procambarus clarkii* normales y ablacionados no fue afectado por el incremento de temperatura día-noche, lo cual confirma a estas temperaturas como el *preferendum* final de esta especie. El incremento de la excreción nitrogenada durante la noche estuvo relacionada directamente con el período de alimentación.

La ablación propició que la cantidad de energía canalizada hacia el campo de crecimiento en los animales operados fuera mayor. Las hembras ablacionadas canalizaron mayor cantidad de energía hacia el campo de crecimiento que los machos. Los esquemas del balance energético muestran que después de satisfacer sus requerimientos metabólicos ambos sexos de los animales normales y ablacionados destinaron la mayor cantidad de la energía extraída del alimento hacia el campo de crecimiento.

Según los índices de crecimiento las hembras y los machos ablacionados tuvieron una mayor eficiencia de conversión del alimento hacia el crecimiento neto y los valores obtenidos en la relación atómica oxígeno:nitrógeno indicaron que *Procambarus clarkii* tuvo un metabolismo no proteico. Así el mayor porcentaje de las proteínas proporcionadas en la dieta fueron utilizadas en la síntesis de tejido por los animales ablacionados.

Estos resultados indican que la ablación unilateral del pedúnculo ocular puede ser utilizada para incrementar el campo de crecimiento de *Procambarus clarkii* en condiciones de cultivo como resultado de tres mecanismos: la hiperfagía, la eficiencia de conversión del alimento a crecimiento neto y los bajos costos metabólicos en el metabolismo respiratorio y en la producción de desechos nitrogenados.

EFFECT OF EYESTALK ABLATION OVER SCOPE FOR GROWTH OF *Procambarus clarkii* (GIRARD)(DECAPODA:CAMBARIDAE)

ABSTRACT

It is carry out unilateral and bilateral eyestalk ablation to adults of *Procambarus clarkii* to evaluate their effect on the scope for growth using the components of the energy balance, the gross and net growth index and the atomic ratio oxygen:nitrogen.

The percentage of survival the animals with unilateral eyestalk ablation (UEA) reduce a 9 % while the animals with bilateral eyestalk ablation (BEA); spaced (BEAa) or simultaneously (BEAb) reduce to 45 % and 50 % respectively. This percentage of survival support the one which only is recommended to use the unilateral eyestalk ablation to increase the scope for growth in *Procambarus clarkii*.

The rate of ingestion of the food in the animals with ablation had a significant increase of 5 % in relation with the normal. The energetic expenditure in the respiratory routine metabolism and in production of ammonia in the females and the males with ablation were significantly less than in normal. The increase in the metabolic rate followed to the ingestion of food was 8.6 % greater in both sex of the normal animals that in the ablation.

The oxygen consumption of *Procambarus clarkii* normal and ablation it was not affected by the temperature increase day-night which confirms at these temperature as the final preferendum of this specie. The increase of the nitrogen excretion during the night was related directly with a period of fed.

The ablation favourable that the quantity of energy channeled toward the scope for growth in the operated animals would be greater. The females ablation channeled greater quantity of energy toward scope for growth that the males. The diagram of energy show that after satisfying their metabolic requeriments both sexes of the normal animals and ablation destined the greater quantity of the energy extracted of the food toward the scope for growth.

The growth index of females and males with ablation had a greater efficiency of conversion of food toward the net growth and the values obtained in the atomic ratio oxygen:nitrogen indicated that *Procambarus clarkii* had a metabolism no proteinic. The greater percentage of the proteins proportionate in the diet were used in the synthesis of tissue by the animals with ablation.

These results indicated that the unilateral eyestalk ablation can be used to increase the scope for growth of *Procambarus clarkii* in culture conditions is the results of three mechanisms: the hyperphagia, the efficiency of conversion of the food to net growth and the lower cost in metabolisms in the respiratory and the production of waste nitrogenous.



CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN
SUPERIOR DE ENSENADA

DIVISIÓN DE OCEANOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE ACUICULTURA

**EFFECTO DE LA ABLACIÓN DEL PEDÚNCULO OCULAR SOBRE
EL CAMPO DE CRECIMIENTO DE *Procambarus clarkii* (GIRARD)
(DECAPODA:CAMBARIDAE)**

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS presenta:

BIÓL. ELIZABETH SIERRA URIBE

Ensenada, B.C., Diciembre de 1994.

DEDICATORIAS

CON GRAN AMOR A MI
MADRE, **MARIA CRISTINA**
QUIEN POR SIEMPRE
ESTARÁ EN MI CORAZÓN

A MI PADRE, **JACINTO** QUIEN HA
CONSTITUIDO EL PRINCIPAL
PILAR EN MI VIDA. A MIS
HERMANOS **RUTH Y MARTÍN** Y A
MI ABUELITA **TERESA** POR
APOYARME SIEMPRE EN MI
DESEO DE SUPERACIÓN Y DE
UNA MANERA ESPECIAL A MIS
NIÑAS **ERICKA Y AMÉRICA**.

A **MARY** POR SU
CONSTANTE APOYO Y
CONSEJOS.

A **JOSUÉ** POR ESTAR AQUÍ Y
AHORA Y POR SU
INSUSTITUIBLE CARIÑO QUE
ME HA PERMITIDO LLEGAR A
LA CULMINACIÓN DE ESTA
ETAPA DE MI SUPERACIÓN
PERSONAL.

MIL GRACIAS

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar un sincero agradecimiento al Dr. Fernando Díaz Herrera por la dirección y el apoyo en la realización de esta tesis, pero sobre todo por la gran amistad y confianza que nos ha unido.

Agradezco al Dr. Luis Fernando Bückle, al M en C. Jesus Ibarra Villaseñor y al M en C. Benjamín Baron Sevilla por haber fungido como mis asesores y por sus valiosas recomendaciones que contribuyeron en gran medida a la culminación de este trabajo.

A la familia Terví-Casillas, por su constante cariño y apoyo, mil gracias.

A mis compañeros y amigos Adriana, Estela, Namiko, Epi, Juan Carlos, Rocio, Eduardo y Karla por sus consejos y comprensión en todo momento, muy especialmente a Eduardo Morales y a Benjamín Baron por su apoyo y colaboración desinteresada en diversos aspectos del desarrollo del presente trabajo.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada por el apoyo brindado a través del proyecto "Estudios básicos ecofisiológicos y genéticos, orientados a desarrollar el cultivo de *Procambarus clarkii* en Baja California" (No. 1205-N9203) y de manera especial a todos y cada uno de los integrantes del Departamento de Acuicultura que de una manera u otra contribuyeron a la realización de esta tesis.

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

CONTENIDO

	<u>página</u>
I INTRODUCCION.	1
I.1 Objetivos.	7
II MATERIALES Y METODOS.	8
II.1 Captura y mantención.	8
II.2 Bioenergética en organismos normales.	10
II.3 Bioenergética en organismos con ablación.	13
II.4 Campo de crecimiento.	15
II.5 Eficiencias de crecimiento.	15
II.6 Relación atómica O:N.	16
II.7 Medidas energéticas	16
II.8 Medidas morfométricas.	17
II.9 Análisis estadístico de los datos.	17
III. RESULTADOS.	20
IV. DISCUSION.	38
V. CONCLUSIONES.	47
LITERATURA CITADA.	49

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	Esquema del respirómetro semiabierto que consta de 21 cámaras respirométricas. Fernbach de 2800 ml (a) cámara respirométrica; (b) dispositivo para la extracción de muestras; (c) motobomba; (d) válvula con control de flotador.	11
2	Campo de crecimiento ($J \cdot h^{-1} \cdot g^{-1} ps$) en adultos normales y ablacionados (ATU), machos (M) y hembras (H), del acocil <i>Procambarus clarkii</i> .	26
3	Distribución porcentual de la energía del alimento consumido en los diferentes parámetros de la ecuación del balance energético por las hembras y los machos adultos normales de <i>Procambarus clarkii</i> .	28
4	Distribución porcentual de la energía del alimento consumido en los diferentes parámetros de la ecuación del balance energético por las hembras y los machos adultos ablacionados de <i>Procambarus clarkii</i> .	29
5	Eficiencia de crecimiento (%) bruta K_1 y neta K_2 , en organismos (M) machos y (H) hembras normales y ablacionados, del acocil <i>Procambarus clarkii</i> .	32
6	Consumo de oxígeno ($g \cdot h^{-1} \cdot g^{-1} ps$) en organismos hembras normales (Hn) y ablacionadas (Ha), machos normales (Mn) y ablacionados (Ma) del acocil <i>Procambarus clarkii</i> . Medias \pm E.E.	33
7	Excreción nitrogenada ($g \cdot h^{-1} \cdot g^{-1} ps$) día - noche en organismos normales (M) machos y (H) hembras, del acocil <i>Procambarus clarkii</i> . Media \pm E.E.	35

LISTA DE FIGURAS (Continuación)

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
8	Excreción nitrogenada ($\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}\text{ps}$) día - noche en organismos ablacionados (M) machos y (H) hembras, del acocil <i>Procambarus clarkii</i> . Media \pm E.E.	36

LISTA DE TABLAS

<u>Tabla</u>		<u>Página</u>
I	Análisis proximal del alimento balanceado para acocil TECNO-ALEN (con 30% de proteína) proporcionado a los organismos normales y ablacionados de <i>Procambarus clarkii</i> .	9
II	Ecuaciones que describen la relación peso húmedo (ph.) vs. peso seco (ps.) de las hembras y los machos del acocil <i>Procambarus clarkii</i> .	19
III	Porcentaje de sobrevivencia y tasa de muda de <i>Procambarus clarkii</i> normales y con ablación total unilateral (ATU) y bilateramente (ATB).	21
IV	Contenido de energía ($J \cdot g$. Media \pm E.E.) de un grupo de <i>Procambarus clarkii</i> recolectados de la población natural y de otro alimentados con la dieta balanceada para acocil TECNO-ALEN (con 30% de proteína) durante un mes.	22
V	Energía extraída del alimento consumido (C) y su distribución en el metabolismo respiratorio de rutina (R), la producción de heces (F), la producción de amoníaco (U) y el efecto dinámico específico (E.D.E.) de hembras y machos adultos de <i>Procambarus clarkii</i> normales y con ablación ($J \cdot h^{-1} \cdot g^{-1} \cdot ps$).	24
VI	Incremento de la tasa metabólica de rutina de las hembras y los machos de <i>Procambarus clarkii</i> normales y con ablación total unilateral del pedúnculo ocular después de alimentarlos.	25

LISTA DE TABLAS (Continuación)

<u>Tabla</u>		<u>Página</u>
VII	Energía asimilada (A) y fisiológicamente útil (As), Eficiencia de conversión bruta (K_1) y neta de crecimiento (K_2) de las hembras y los machos adultos de <i>Procambarus clarkii</i> normales y con ablación, expresados en (%).	30
VIII	Relación atómica (O:N). calculada para las hembras y los machos normales y ablacionados de <i>Procambarus clarkii</i> .	37

EFFECTO DE LA ABLACIÓN DEL PEDÚNCULO OCULAR SOBRE EL CAMPO DE CRECIMIENTO DE *Procambarus clarkii* (GIRARD) (DECAPODA:CAMBARIDAE)

I.- INTRODUCCIÓN

La acuicultura tiene cada vez más importancia a nivel mundial ya que en 1985 representaba alrededor del 12% de toda la producción de animales acuáticos. El cultivo de crustáceos ha registrado el más importante incremento en la producción, seguido por el cultivo de peces, mientras que el de moluscos permanece estable (Anon, 1989.)

En los crustáceos, el grupo más estudiado ha sido el de los decápodos, debido a que comprende aproximadamente un tercio de todas las especies, que son potencialmente cultivables y que tienen gran importancia económica y comercial.

Actualmente se reconocen tres familias de acociles dulceacuícolas; Astacidae, Cambaridae y Parastacidae (Hobbs, *et al.*, 1989). La familia Cambaridae es la más diversa de las tres con 12 géneros (Huner, 1988). De éstos, el cangrejo de río *Procambarus clarkii* es una de las especies de mayor importancia económica (Holdrich y Lowery, 1988).

Esta especie se encuentra en comunidades que incluyen habitats bénticos con fondos ricos en materia orgánica y cubierta vegetal, es capaz de alimentarse de plantas, animales y detritus que encuentra en los pantanos, canales lodosos, lagos y ríos donde habita (Huner y Barr, 1984). Los estudios de comportamiento demuestran que es el "olor" del alimento el que estimula y desencadena el proceso de alimentación en estos organismos (Huner y Barr, 1984).

Por su amplia distribución, a *Procambarus clarkii* se le considera como una especie "cosmopolita". Prácticamente en todos los continentes se encuentran poblaciones reproductivas (Huner, 1988) sin embargo, su distribución geográfica se restringe en el hemisferio norte a una franja comprendida entre los 15° y 60° de latitud. En el hemisferio sur, específicamente en América del sur, se distribuye a partir de los 30° de latitud desde Argentina y Chile, mientras que en Asia y África se encuentra exclusivamente en Japón, Australia, Madagascar, Kenia y Uganda (Villalobos, 1983).

En México se distribuye de manera natural en Chihuahua, Coahuila y Nuevo León (Huner y Barr, 1984). La meseta del norte, con una elevación de 1,000 o más metros sobre el nivel del mar, es la barrera geográfica que evitó una mayor dispersión hacia el occidente. Su presencia en el centro-oeste de Tamaulipas, centro de Nuevo León, occidente de Chihuahua, Sonora y Baja California ha sido principalmente el resultado de introducciones antropogénicas (Campos y Rodríguez, 1992).

Como resultado de estudios prospectivos en Baja California, Re y Bückle (1985), Campos y Rodríguez (1992), Espina *et al.* (1993), reportan su presencia en los ejidos Santo Tomás, Uruapan, El Porvenir, Agua Caliente, Cantamar y La Misión.

Los acociles endémicos representan un importante recurso biótico y acuicultural en México, sin embargo, existen pocos estudios sobre la ecofisiología de las diversas especies del país. La biotecnología del cultivo de otras especies introducidas a nuestro país como el langostino malayo *Macrobrachium rosenbergii* (Holtschmit, 1988), se encuentra satisfactoriamente en desarrollo pero no sucede así para las especies dulceacuícolas nativas de estos cambáridos, que poseen un gran potencial acuicultural.

En los crustáceos el crecimiento involucra dos componentes principales que se interrelacionan; el intervalo de muda y el incremento en peso ganado durante ésta

(Skinner, 1985). Este último es un proceso que se lleva a cabo únicamente durante el período de muda o ecdisis en el cual el organismo deja su exoesqueleto y su cuerpo se hincha por la absorción de agua que a su vez, será, reemplazada por tejido somático durante el período de intermuda y endurecer la nueva cubierta que será más grande que la anterior (Coll, 1982).

El incremento en biomasa es un proceso vital para los organismos y depende de la energía disponible en el alimento y de la cantidad de energía que es distribuida y utilizada en los procesos fisiológicos (Gerking, 1978). El crecimiento constituye una medida integradora de los diferentes procesos que ocurren en el interior de un organismo y representa la transferencia neta de la energía incorporada con el alimento (Díaz, 1989).

La energía en los animales se obtiene al catabolizar los diferentes nutrientes constitutivos de la dieta como son los carbohidratos, los lípidos y las proteínas. Por lo tanto, la energía es un componente para el mantenimiento de los procesos vitales como son el metabolismo celular, el crecimiento, la reproducción y otros (Tácon, 1989). El balance adecuado de estos nutrientes permite suministrar energía y materias primas para una actividad anabólica óptima, lo cual incluye además del crecimiento, la reproducción y la formación de otros componentes como pigmentos respiratorios y hormonas (Díaz, 1988).

En los organismos los requerimientos energéticos para el mantenimiento y actividades de rutina son los primeros que deben ser cubiertos antes de tener energía disponible para el crecimiento. Entre los factores que modifican éstos requerimientos de energía se encuentran la temperatura, la salinidad, el alimento, la calidad del agua y el estrés, entre otros (Talbot, 1985; Díaz, 1989).

Para saber como se distribuye la energía que es utilizada por los organismos, en un proceso fisiológico integral, se utiliza el balance energético. Este permite conocer la eficiencia metabólica de la especie y requiere que la medición de la ingestión, la transformación, la utilización y la transferencia de la energía ingerida con el alimento consumido (Díaz, 1988). La distribución de la energía para el metabolismo y crecimiento en los organismos se puede describir, termodinámicamente, mediante la ecuación energética propuesta por Klekowsky y Duncan (1975):

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

Donde (**C**) es la energía ingerida a través del alimento consumido. (**P**) es la fracción de la energía que corresponde al campo de crecimiento en los organismos juveniles o producción de gametos en los adultos. (**R**) es la porción de la energía que se canaliza en los procesos como la respiración y la locomoción entre otros. (**F**) es la porción de energía ingerida que se pierde como heces y (**U**) es la parte de la energía asimilada, que se excreta como productos nitrogenados.

El balance energético de las especies acuáticas puede verse modificado positiva o negativamente por diversos factores ambientales y los cambios se verán reflejados directamente en el crecimiento neto o "campo de crecimiento". Clifford y Brick (1979), mencionan que el objetivo de los experimentos de crecimiento con organismos de interés comercial, debiera ser el aislamiento de los parámetros que pueden incrementar la tasa de crecimiento de los animales cultivados.

La importancia de evaluar el balance energético en las especies de interés acuicultural, se debe a que este es un índice cuantitativo que permite describir, explicar y predecir la condición o estado fisiológico de los organismos (Díaz *et al.*, 1992). Cuando se desea cultivar una especie es necesario no sólo conocer las técnicas que aceleran el crecimiento, sino también los efectos que pueden ejercer los tratamientos sobre la fisiología de los organismos (Brito y Díaz, 1987).

Junto al balance energético la relación atómica oxígeno:nitrógeno (O:N) también es un índice cualitativo utilizado en investigaciones biológicas, que utilizan los animales para producir energía; valores de 7 a 9 indican la oxidación de proteínas, mientras que de 10 a 20 señalan la utilización de lípidos y carbohidratos y valores mayores de 20 solo de carbohidratos (Conover y Corner, 1968; Regnault, 1981; Barber y Blake, 1985; Mayazud y Conover, 1988).

En el acocil *Procambarus clarkii* se han estudiado varios factores que actúan sobre el crecimiento, como son la temperatura, la alimentación, la autotomía de apéndices locomotores y la regulación hormonal (Nakatani y Otsu, 1979; Re y Bückle, 1985; Skinner y Graham, 1972; Gilgan, 1980; Cordero y Voltolina, 1990), sin embargo, en los crustáceos, el estímulo más potente que se ha encontrado para acelerar este proceso en los decápodos es la ablación de los pedúnculos oculares (Castell *et al.*, 1977; Nakatani y Otsu, 1980; Brito y Díaz, 1987a; Naya *et al.*, 1989).

Los pedúnculos oculares de los decápodos contienen una gran variedad de hormonas o factores que controlan el crecimiento, la muda, la tasa respiratoria, el metabolismo de los carbohidratos y proteínas, el balance de agua, la dispersión de los pigmentos y la actividad sexual (Adiyodi y Adiyodi, 1970; Silverthorn, 1975). Las primeras observaciones del efecto de la ablación de los pedúnculos oculares en los crustáceos

fueron hechas por Zeleny (1905), quien observó un incremento significativo en la frecuencia de muda. Esta técnica ha sido utilizada en varias especies para acelerar el crecimiento, en las langostas *Panulirus argus*, *P. homarus*, *P. ornatus*, *P. versicolor*, *P. poliphagus*, *Homarus americanus* (Anon, 1984; Bruce y Chang, 1984; Radhakrishnan y Vijayakumaran, 1984; Brito y Díaz, 1987a) en el langostino *Macrobrachium rosenbergii* (Huang *et al.*, 1981; Sierra, 1991) y en el camarón *Penaeus canalicatus* (Choy, 1987).

Sin embargo, se ha observado que la ablación puede causar el desarrollo de la gónada en lugar de acelerar la muda en *Penaeus monodon* y en los camarones *P. semilicatus*, *P. vanamei*. y *P. stylirostris* se ha reportado que después de remover los pedúnculos oculares no se afectó el intervalo de muda o se produjo una aneudisis y la degeneración del órgano-Y (Chamberlain y Lawrence, 1981; Browdy y Samocha, 1985; Emmerson, 1983). Petriella y Díaz (1987), encontraron que de acuerdo con la edad y la especie involucrada se puede interferir con dos procesos fisiológicos importantes, la muda o la reproducción.

Aquacop (1979); Primavera y Borlogan (1977), reportaron que remover un solo pedúnculo ocular (ablación unilateral) es suficiente para estimular el crecimiento, reduciendo los efectos metabólicos adversos. Mauviot y Castell (1976), Trider *et al.* (1979), Huang *et al.* (1981), observaron que la extirpación de ambos pedúnculos oculares (ablación bilateral) provocó una serie de efectos como un desbalance de agua y iones, variaciones en la concentración de proteínas y carbohidratos en la hemolinfa, cambios en la pigmentación y comportamiento de los animales, así como una alta mortalidad debido a la ausencia de los principales factores hormonales producidos en el complejo neurosecretor peduncular.

Los estudios de la ablación de los pedúnculos oculares se han realizado principalmente en organismos de ambientes marinos, como camarones peneidos y langostas, en los que se ha tratado de inducir la madurez sexual, pero también es importante estudiarlo en acociles dulceacuícolas que tienen gran potencial acuicultural.

Debido a la importancia que tiene el cultivo de los crustáceos en México y el desarrollo de biotecnias para especies nativas, así como el innegable potencial acuicultural del acocil *Procambarus clarkii*, los objetivos del presente trabajo son:

I.1 OBJETIVOS:

- A) Conocer el balance energético en los machos y las hembras del acocil *Procambarus clarkii*.
- B) Evaluar el efecto de la ablación uni y bilateral del pedúnculo ocular sobre el balance energético en adultos de ambos sexos del acocil *Procambarus clarkii*.
- C) Investigar el campo de crecimiento y los índices de crecimiento bruto (K_1) y neto (K_2) en organismos normales y con ablación del pedúnculo ocular de *Procambarus clarkii*.
- D) Estimar la fuente principal de energía utilizada por los acociles normales y ablacionados, de ambos sexos, durante el período experimental mediante la cuantificación del índice metabólico relación atómica oxígeno:nitrógeno (O:N).

II.- MATERIALES Y MÉTODOS

II.1 CAPTURA Y MANTENCIÓN:

Procambarus clarkii utilizado en este trabajo se recolectó en la represa ubicada en el ejido La Misión del municipio de Ensenada, Baja California ($31^{\circ} 48'$ de latitud norte y $116^{\circ} 37'$ de longitud oeste).

Las capturas de los animales se realizaron con redes de mango largo y cañas dispuestas a lo largo de la orilla, espaciadas cada 2 metros y en cuyo extremo se colocaron trozos de riñón de res como carnada. Las recolectas incluyeron únicamente organismos en estado adulto y fueron transportados al laboratorio de Acuicultura del C.I.C.E.S.E., en cajas de polietileno con agua del medio y trozos de plantas del lugar.

En el laboratorio, los machos se clasificaron sexualmente con la presencia de un gancho copulador en el segundo y tercer par de pereiópodos (tipo I), de acuerdo al criterio de Huner y Barr (1984) y se colocaron por un período de veinte días en estanques circulares de 500 litros para aclimatarlos a un ciclo de temperaturas de 24°C durante el día y de 26°C durante la noche, que corresponden al *preferendum* final reportado por Bückle *et al.* (1994) para esta especie. En los estanques se introdujeron tubos de ABS, de 10 a 15 cm. de longitud y una pulgada de diámetro como refugios para prevenir el canibalismo durante la muda. Durante el período de aclimatación, los acociles se alimentaron *ad libitum* cada tercer día con la dieta comercial para acocil TECNO-ALEN de 30% de proteína (Tabla I), recomendada por (Barón, 1993) para el cultivo de *Procambarus clarkii*.

Tabla I.- Análisis proximal del alimento balanceado para acocil TECNO-ALEN (con 30% de proteína) proporcionado a los organismos normales y ablacionados de *Procambarus clarkii*.

PROTEÍNAS %	30.0
LÍPIDOS %	9.0
CARBOHIDRATOS %	36.4
CENIZAS %	4.5
FIBRA CRUDA %	7.8
HUMEDAD	6.0
ENERGÍA (KJ/g)	4.3
RAZON PROTEÍNAS/ENERGÍA (mg/KJ)	69.76

II.2 BIOENERGÉTICA EN ORGANISMOS NORMALES:

Una vez completado el período de aclimatación, se seleccionaron 20 organismos adultos en estadio de intermuda, de los cuales la mitad fueron hembras y la otra mitad machos, con un intervalo de peso húmedo de 17.85 ± 1.0 g para ambos sexos.

Estos acociles se colocaron individualmente y al azar en un sistema respirométrico semiabierto, durante 35 días en matraces Fernbach de 2800 ml (Figura 1), con un fotoperíodo de 12 horas luz / 12 horas oscuridad, aireación constante, y un baño termoregulado a un ciclo de temperaturas de $24 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 0.01 \text{ }^\circ\text{C}$) durante el día y $26 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 0.01 \text{ }^\circ\text{C}$) en la noche, mantenido con calentadores sumergibles de 1000 W conectados a un controlador de tiempo CHRONTROL serie XT.

Las características fisicoquímicas del agua del sistema respirométrico durante la fase de experimentación fueron: pH de 7.5 a 8.00, una concentración de oxígeno disuelto de 6 a 7 mg O_2 / l y una alcalinidad de 188 mg/l de CaCO_3 .

En los matraces Fernbach, los acociles se alimentaron diariamente durante dos horas con la dieta de 30% de proteína, con una ración equivalente al 3% del peso corporal húmedo. El alimento remanente se retiró de cada uno de los matraces por medio de un sifón y una malla de 140 micras colocada en el extremo distal; se etiquetó y se colocó en una estufa BLUE M a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ para obtener el peso seco constante (ps) que se comprobó en una balanza OHAUS TS 400D.

Las heces producidas por cada uno de los organismos se recolectaron de los matraces de 1 a 2 veces durante las 24 horas siguientes para evitar su reprocesamiento digestivo, con la misma técnica, pero con una malla de 80 micras y también se secaron hasta obtener su peso seco como se indicó para el alimento remanente.

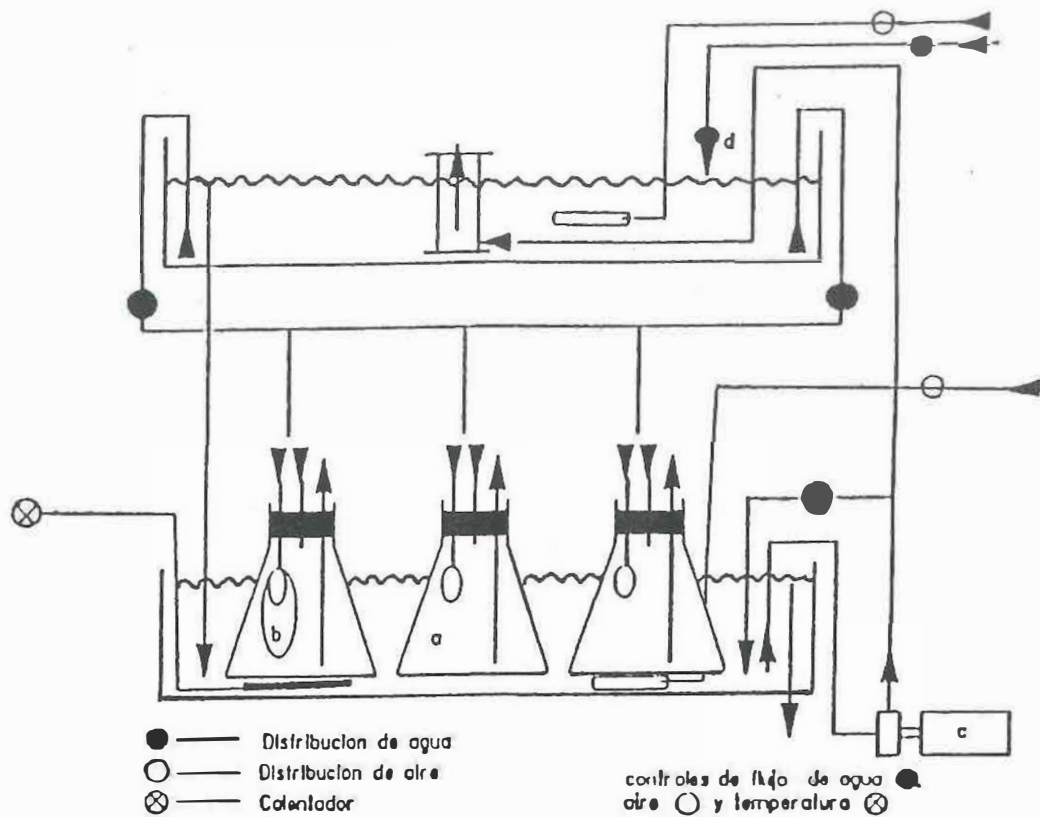


Figura 1. Esquema del respirómetro semiabierto que consta de 21 cámaras respirométricas. Fernbach de 2800 ml (a) cámara respirométrica; (b) dispositivo para la extracción de muestras; (c) motobomba; (d) válvula con control de flotador.

La ecuación energética propuesta por Klekowsky y Duncan, (1975) ha sido modificada, de acuerdo al organismo utilizado como unidad experimental. Nelson *et al.* (1985) incorporaron el costo energético asociado con la digestión y utilización del alimento, evidenciado por un incremento en la tasa metabólica conocido como efecto dinámico específico (E.D.E) que involucra a los procesos de ingestión, asimilación, transporte, tratamiento bioquímico e incorporación del alimento.

$$C = P + R + F + U + E.D.E. \quad (2)$$

Los parámetros que conforman esta ecuación en este estudio se midieron individualmente para los 20 organismos normales de la siguiente manera:

- El alimento consumido (**C**) se cuantificó mediante el método gravimétrico por la diferencia entre el alimento suministrado y el remanente.
- El consumo de oxígeno (**R**) durante el día y la noche, se midió utilizando el sistema respirométrico semi-abierto descrito anteriormente (Figura 1) se tomaron muestras de agua de cada una de las cámaras, con un dispositivo cerrado para evitar variaciones en el contenido de O₂ disuelto. Una vez que se midió la concentración inicial del gas con un oxímetro YSI modelo 50-B provisto de un sensor polarográfico, las cámaras permanecieron cerradas por un intervalo de dos horas, al término de las cuales se volvieron a tomar muestras de agua para medir la concentración final del O₂ disuelto. El consumo de oxígeno de los organismos se calculó como la diferencia entre la concentración inicial y final del gas.

- La cantidad de heces (**F**) se cuantificó directamente mediante el método gravimétrico.
- La excreción de amoniaco (**U**) se midió simultáneamente a la de oxígeno y de la diferencia en la concentración de NH_3^+ inicial y final detectada con un electrodo de amoniaco conectado a un analizador de iones Orion EA-940.
- El efecto dinámico específico (**E.D.E**) se calculó de la diferencia entre el consumo de oxígeno de los organismos recién alimentados y mantenidos sin alimentar durante 48 horas.

Durante toda la fase experimental se mantuvo una cámara control, sin organismo, para medir el consumo de O_2 y la producción de amoniaco (NH_3^+) de los microorganismos. Estos valores fueron substraídos de las lecturas obtenidas en las cámaras experimentales.

La energía calórica del alimento proporcionado y las heces producidas por cada organismo se midieron en una bomba calorimétrica semimicro PARR 1425, calibrada previamente con ácido benzoico. Cada análisis se realizó por triplicado.

Las mediciones del consumo de oxígeno y del efecto dinámico específico de los organismos normales y ablacionados se transformaron a unidades de energía mediante el equivalente oxicalórico de $1.406 \cdot 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ de oxígeno consumido (Gnaiger, 1983) y la excreción nitrogenada se transformo con el equivalente nitrocalórico de $5.73 \cdot 10^{-3} \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$ de NH_3^+ (Elliot y Davison, 1975; Clifford y Brick, 1979). La excreción amoniaca, el alimento y la producción de heces se transformaron a Joules con el factor de conversión de 1 Caloría = 4.1856 Joules.

II.3 BIOENERGÉTICA EN ORGANISMOS CON ABLACIÓN:

Se seleccionaron tres grupos de 30 organismos, 15 hembras y 15 machos bajo las mismas consideraciones que el primer lote, con un intervalo de peso húmedo promedio de 18.6 g (± 0.95) para ambos sexos. Al primer grupo de organismos se les practicó la ablación total unilateral (ATU) y al segundo y tercer grupo la ablación total bilateral del pedúnculo ocular (ATB), por dos métodos; espaciada 24h entre la extirpación de uno y otro pedúnculo (ATBa) y simultáneamente (ATBb).

La ablación consistió en practicar la extirpación total del pedúnculo ocular desde su base con una tijera curva esterilizada MILTEX IRIS SCS. 4-1/2 CVD modelo 5-306 con ayuda de una lámpara de aumento, prosiguiendo a la inmediata cauterización con una aguja sin punta al rojo vivo para disminuir la mortalidad por pérdida de hemolinfa o infección (Sindhu y Pandian, 1987; Sierra, 1991).

Los animales operados permanecieron durante una semana en acuarios de 25 litros, con aireación constante, alimentación diaria *ad libitum*, ciclo de temperaturas de 24°C día y 26 °C noche (± 0.1 °C) y un fotoperíodo 12-horas luz:12-horas oscuridad, con el fin de que se recuperaran del estrés causado por la ablación. Después de este período, los animales se transfirieron a los matraces Fernbach de 2800 ml para iniciar la fase experimental en el sistema respirométrico semiabierto (Figura 1), bajo condiciones similares a los organismos normales, excepto que se les aumentó la ración de alimento al 5% del peso corporal húmedo.

Los parámetros fisiológicos que conforman la ecuación del balance energético (2) se midieron empleando la misma metodología descrita para los acociles normales y fueron también expresados en $\text{Joules} \cdot \text{h}^{-1} \text{J} \cdot \text{g}^{-1} \text{ps}$.

Los experimentos de respirometría que incluyeron las mediciones de consumo de oxígeno (O_2) y de excreción de amoníaco (NH_3^+) se realizaron durante el día (24°C) y la noche (26°C) en ambas condiciones experimentales.

Tanto en los organismos normales como en los ablacionados se evaluó el porcentaje de sobrevivencia y la tasa de muda.

II.4 CAMPO DE CRECIMIENTO:

El campo de crecimiento de los acociles normales y ablacionados se calculó como la diferencia entre la energía contenida en el alimento ingerido y la suma de la energía utilizada en el consumo de oxígeno, excreción de amoníaco, producción de heces y efecto dinámico específico.

$$P = C - (R + F + U + E.D.E) \quad (3)$$

La cantidad de energía asimilada (A), se estimó como la diferencia entre la cantidad de energía consumida con el alimento (C) y la cantidad de energía perdida como heces (F) $A = C - F$. De igual manera, la energía fisiológicamente útil (A_s) se calculó sustrayendo de la energía asimilada (A), la cantidad de energía excretada como

desechos nitrogenados (U) para ambas condiciones experimentales $A_s = [C - (F + U + E.D.E)]$ (Ponnuchamy *et al.*, 1980; Sindhu y Pandian, 1987).

II.5 EFICIENCIAS DE CRECIMIENTO:

La eficiencia de los organismos para convertir la energía consumida y asimilada que es canalizada hacia el crecimiento, se obtuvo mediante los índices de crecimiento K_1 y K_2 (Klekowsky y Duncan, 1975), tanto en los animales intactos como en los operados.

$$K_1 = (P / C) \cdot 100 \quad (4)$$

$$K_2 = (P / A) \cdot 100 \quad (5)$$

Donde (P) es el campo de crecimiento o producción y (C) la energía del alimento ingerido, los cuales se obtuvieron de los elementos de la ecuación del balance energético (2) y (A) es la energía asimilada.

II.6 RELACIÓN ATÓMICA O:N:

Aplicando los principios de la termoquímica respiratoria y de la calorimetría indirecta (Brody, 1954) se calculó la relación atómica oxígeno:nitrógeno (O:N), índice que permite conocer cuál fue el sustrato metabólico utilizado como la fuente principal de energía para cubrir los requerimientos metabólicos en los organismos normales y

ablacionados. El cálculo se realizó dividiendo las tasas de consumo de oxígeno por la excreción amoniacal expresadas en sus equivalentes atómicos.

II.7 MEDIDAS ENERGÉTICAS:

Adicionalmente, se hicieron mediciones comparativas del contenido de energía de los organismos completos provenientes de la población natural y de organismos mantenidos un mes con la dieta comercial para acocil TECNO-ALEN. de 30% de proteína, con una bomba calorimétrica PARR modelo 1425:

II.8 MEDIDAS MORFOMÉTRICAS:

Se recolectaron de la población natural 80 organismos adultos, 37 hembras y 43 machos y se sacrificaron inmediatamente al llegar al laboratorio por inmersión en agua caliente durante 30 segundos y se les pesó húmedos (ph) en una balanza OHAUS TS 400D; se etiquetaron y colocaron en una estufa Blue M CO1A-3 a 60 °C por tres días para obtener el peso seco (ps) con el fin de calcular las ecuaciones que describieran la relación ph vs. ps (Tabla II).

II.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO:

A los datos obtenidos para cada uno de los parámetros fisiológicos (C, P, R, F, U, E.D.E), necesarios para completar las ecuaciones energéticas se les aplicó un análisis exploratorio siguiendo la técnica de cajas en paralelo (Tukey, 1977). Se verificó la

normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y homocedasticidad de los datos (Zar, 1984) y debido a que estos no fueron normales, se utilizó estadística no paramétrica para cuantificar el efecto de la ablación sobre los parámetros de la ecuación del balance energético, crecimiento, el campo de crecimiento y los índices e crecimiento la prueba de análisis de varianza de Kruskal - Wallis y la prueba t de Mann-Whitney para detectar las diferencias entre los tratamientos.

Las pruebas estadísticas se realizaron con un $\alpha = 0.05$ con los paquetes QPRO (version 3.01), SIGMA-STAT (version 1.3) y STATGRAPHICS (version 5) del centro de cómputo del C.I.C.E.S.E.-ACUICULTURA.

Tabla II.- Ecuaciones que describen la relación peso húmedo (ph.) vs. peso seco (ps.) de las hembras y los machos del acocil *Procambarus clarkii*.

	ps. = m (ph.) + b	
HEMBRAS	ps. = 0.31 (ph.) - 0.850	r ² = 91.44
MACHOS	ps. = 0.45 (ph.) - 2.358	r ² = 94.98

III.- RESULTADOS

En los animales normales y con ablación total unilateral del pedúnculo ocular (ATU), la sobrevivencia fue del 95% y 86%, respectivamente durante el período que comprendió tanto la fase de recuperación, como la fase de experimentación. Este porcentaje disminuyó drásticamente en los animales operados de ambos pedúnculos oculares (ATB), de manera espaciada (ATBa) y simultánea (ATBb) hasta un 30% y 20%, respectivamente durante el período de recuperación. Debido a los bajos porcentajes de sobrevivencia que presentaron los animales ablacionados bilateralmente con ambas técnicas (ATBa y ATBb) (Tabla III). Los experimentos de bioenergética solo se continuaron con los organismos ablacionados unilateralmente.

La ablación no afectó la tasa de muda de *Procambarus clarkii* sin embargo, existieron variaciones en el número de animales que mudaron durante la fase de experimentación, entre los animales normales y los ATU, de 1.5 veces mayor con respecto a los primeros (Tabla III).

Con los análisis calóricos realizados en *Procambarus clarkii* recolectados de la población natural y los mantenidos durante un mes en el laboratorio con la dieta balanceada para acocil TECNO-ALEN (con 30% de proteína) *ad libitum*, se pudo establecer que el contenido de energía promedio no difirieron entre sí ($\alpha = 0.05$) en ambos sexos (Tabla IV).

La cantidad de energía extraída del alimento consumido (C) y su distribución en la producción de heces, metabolismo respiratorio de rutina, producción de amoníaco y efecto dinámico específico se presentan en la Tabla V. La cantidad de energía extraída del alimento consumido por las hembras y los machos normales fue $29.2 \text{ J} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ ps}$

Tabla III.- Porcentaje de sobrevivencia y tasa de muda de *Procambarus clarkii* normales y con ablación total unilateral (ATU) y bilateramente (ATB).

	NORMALES	ABLACIONADOS (ATU)	ABLACIONADOS (ATB)**	
			a	b
NUMERO DE ANIMALES	20	30	30	30
ANIMALES MUERTOS	1	4	21	24
ANIMALES QUE MUDARON	6	9	-	-
MUDAS POR ANIMAL	1	1	-	-
SOBREVIVENCIA (%)	95	86	30	20

*a y b Corresponden a la ablación bilateral espaciada (ATBa) y simultanea (ATBb), respectivamente.

** Estos valores corresponden a la fase de recuperación.

Tabla IV.- Contenido de energía (J • g. Media \pm E.E.) de un grupo de *Procambarus clarkii* recolectados de la población natural y de otro alimentados con la dieta balanceada para acocil TECNO-ALEN (con 30% de proteína) durante un mes.

	RECOLECTADOS DE LA POBLACION NATURAL	ALIMENTADOS CON LA DIETA BALANCEADA
H E M B R A S	10356.20 \pm 1268a	10595.30 \pm 1205a
M A C H O S	10360.38 \pm 1209a	10595.25 \pm 1207a

Los valores en el mismo renglón seguidos por la misma letra indican que no existen diferencias significativas ($\alpha=0.05$).

y para ambos sexos de los ablacionados fue $30.5 \text{ J} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ ps. El consumo de alimento de los machos y las hembras ATU tuvo un incremento significativo del 5% en relación con los normales ($\alpha = 0.05$). Esta hiperfagia originada por la ablación unilateral del pedúnculo ocular, propició que la cantidad de energía disponible para ser canalizada a los diferentes procesos fisiológicos fuera mayor.

Energéticamente, en el consumo de oxígeno (R), los acociles normales canalizaron de 1.92 a $1.96 \text{ J} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ ps. En las hembras y los machos de los ablacionados unilateralmente hubo una disminución significativa ($P < 0.05$) del gasto energético en el metabolismo respiratorio de rutina con un intervalo de 1.70 a $1.73 \text{ J} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ ps (Tabla V).

Las pérdidas energéticas a través de la excreción de heces (F) en las hembras y los machos normales fue de $2.75 \text{ J} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ ps, en tanto que los machos ablacionados tuvieron una pérdida significativamente mayor ($P < 0.05$) que las hembras (Tabla V).

Los valores de (U) en las hembras y los machos normales fue de $1.31\text{E-}03$ a $1.36\text{E-}03$ y de $1.43\text{E-}04$ a $1.47\text{E-}04$ en los ablacionados ATU, respectivamente, siendo significativamente menores ($P < 0.05$) en ambos sexos de los ATU (Tabla V).

El incremento en la tasa metabólica de rutina debido a la ingestión de alimento fue del 33.8% a 35.2% en ambos sexos de los animales normales. En las hembras y los machos de los ablacionados hubo una disminución en el E.D.E de 25.29% a 26.58% (Tabla VI).

En todos los grupos experimentales, la mayor cantidad de la energía extraída del alimento por *Procambarus clarkii*, se derivó hacia el campo de crecimiento (P). La energía canalizada por las hembras y los machos normales y ablacionados se muestran en la Figura 2. En ambos casos la energía fue significativamente mayor ($P < 0.05$) en los

Tabla V.- Energía extraída del alimento consumido (C) y su distribución en el metabolismo respiratorio de rutina (R), la producción de heces (F), la producción de amoniaco (U) y el efecto dinámico específico (E.D.E.) de hembras y machos adultos de *Procambarus clarkii* normales y con ablación ($J \cdot h^{-1} \cdot g^{-1} \cdot ps$).

	NORMALES		ABLACIONADOS (ATU)	
	HEMBRAS	MACHOS	HEMBRAS	MACHOS
C	29.2a	29.2a	30.5b	30.5b
R	1.92a	1.96a	1.70b	1.73b
F	2.8a	2.7a	2.0b	3.3c
U	1.31E-03a	1.36E-03a	1.43E-04b	1.47E-04b
E.D.E.	1.3a	1.3a	1.2a	1.2a

Los valores en el mismo renglón seguidos por la misma letra indican que no existen diferencias significativas ($\alpha=0.05$).

Tabla VI.- Incremento de la tasa metabólica de rutina de las hembras y los machos de *Procambarus clarkii* normales y con ablación total unilateral del pedúnculo ocular después de alimentarlos.

	NORMALES	ABLACIONADOS
	(%)	(%)
H E M B R A S	33.8	25.29
M A C H O S	35.2	26.58

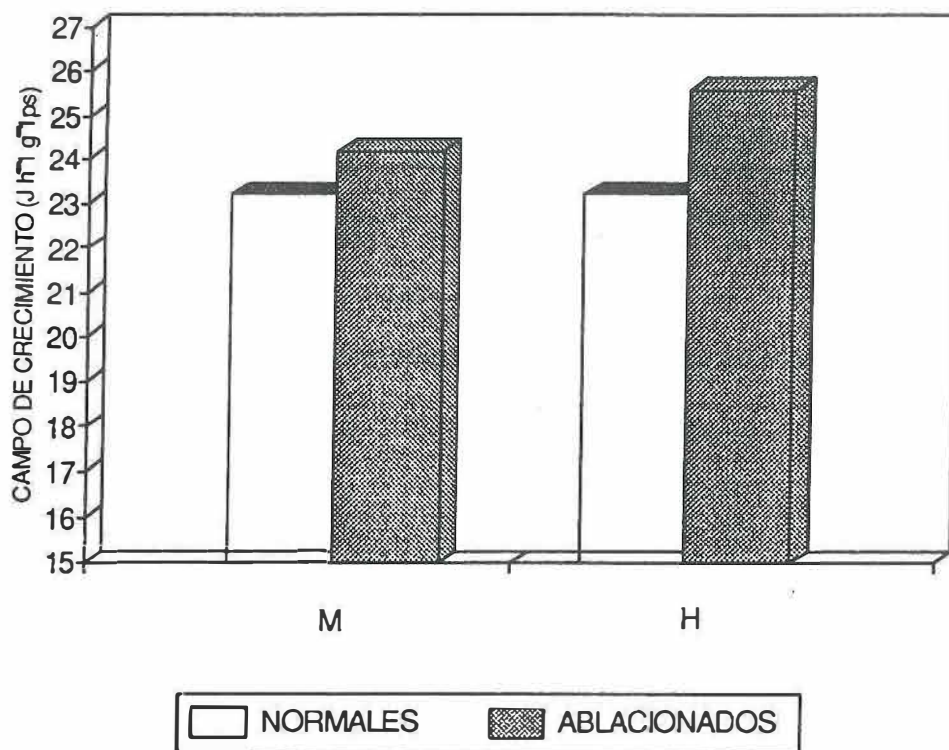


Figura 2. Campo de crecimiento ($J \cdot h^{-1} \cdot g^{-1} ps$) en adultos normales y ablacionados (ATU), machos (M) y hembras (H), del acocil *Procamburus clarkii*.

animales operados. La energía destinada por las hembras y los machos normales a (P) no fue estadísticamente diferente, mientras que en los animales ablacionados ATU las hembras derivaron al campo de crecimiento mayor cantidad de energía que los machos ($\alpha = 0.05$).

Sin embargo, cuando se consideró el porcentaje del alimento consumido, en los esquemas del balance energético (Figuras 3 y 4) se observó que el campo de crecimiento de los machos operados unilateralmente no fue diferente ($P > 0.05$) al de las hembras y machos normales. El porcentaje de energía perdido en las heces en ambos sexos por los organismos normales, no fue significativamente diferente ($P > 0.05$), en tanto que la energía derivada a las heces por las hembras ablacionadas fue 4% menor que la de los machos ATU. En ambos sexos, el porcentaje de la energía excretada como productos nitrogenados y metabolismo respiratorio fue significativamente menor ($\alpha = 0.05$) en los animales ablacionados.

El porcentaje energético que los acociles destinaron a los procesos de digestión del alimento (E.D.E), no fue diferente ($P > 0.05$) entre las hembras y los machos de cada una de las condiciones experimentales (Figuras 3 y 4). Después de satisfacer todos sus requerimientos metabólicos, *Procambarus clarkii* canalizó hacia el campo de crecimiento 79.3 y 79.4% para las hembras y los machos normales y de 83.7% y 79.4% para los ablacionados, respectivamente.

Con respecto a la cantidad de energía asimilada (A) no se encontraron diferencias entre ambos sexos en los animales normales, mientras que en las hembras operadas ATU fue significativamente mayor a la de los machos de la misma condición experimental ($\alpha = 0.05$). Los machos ATU tuvieron también el menor porcentaje de energía asimilada (89.2%) con respecto a los otros grupos de animales (Tabla VII).

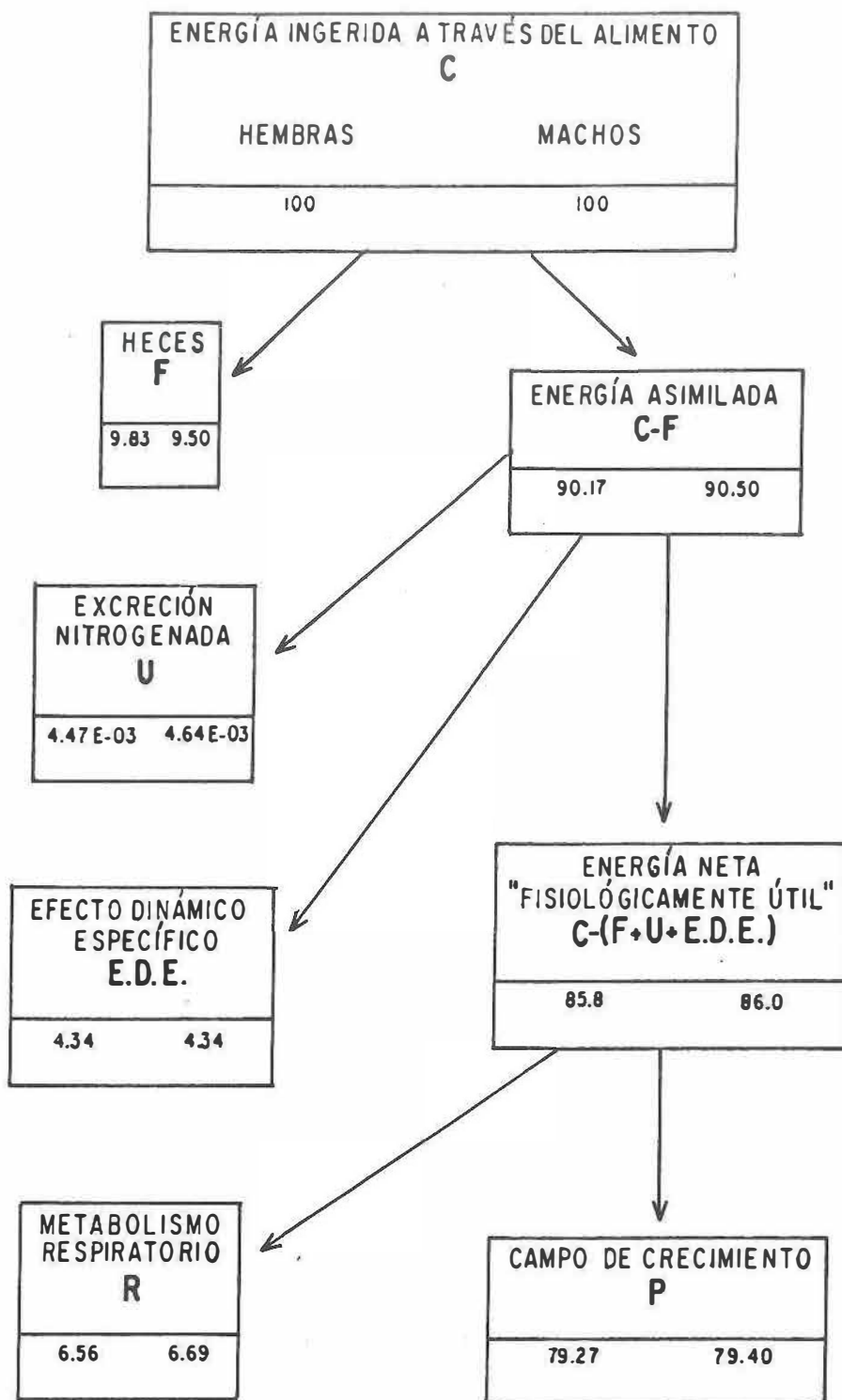


Figura 3. Distribución porcentual de la energía del alimento consumido en los diferentes parámetros de la ecuación del balance energético por las hembras y los machos adultos normales de *Procambarus clarkii*.

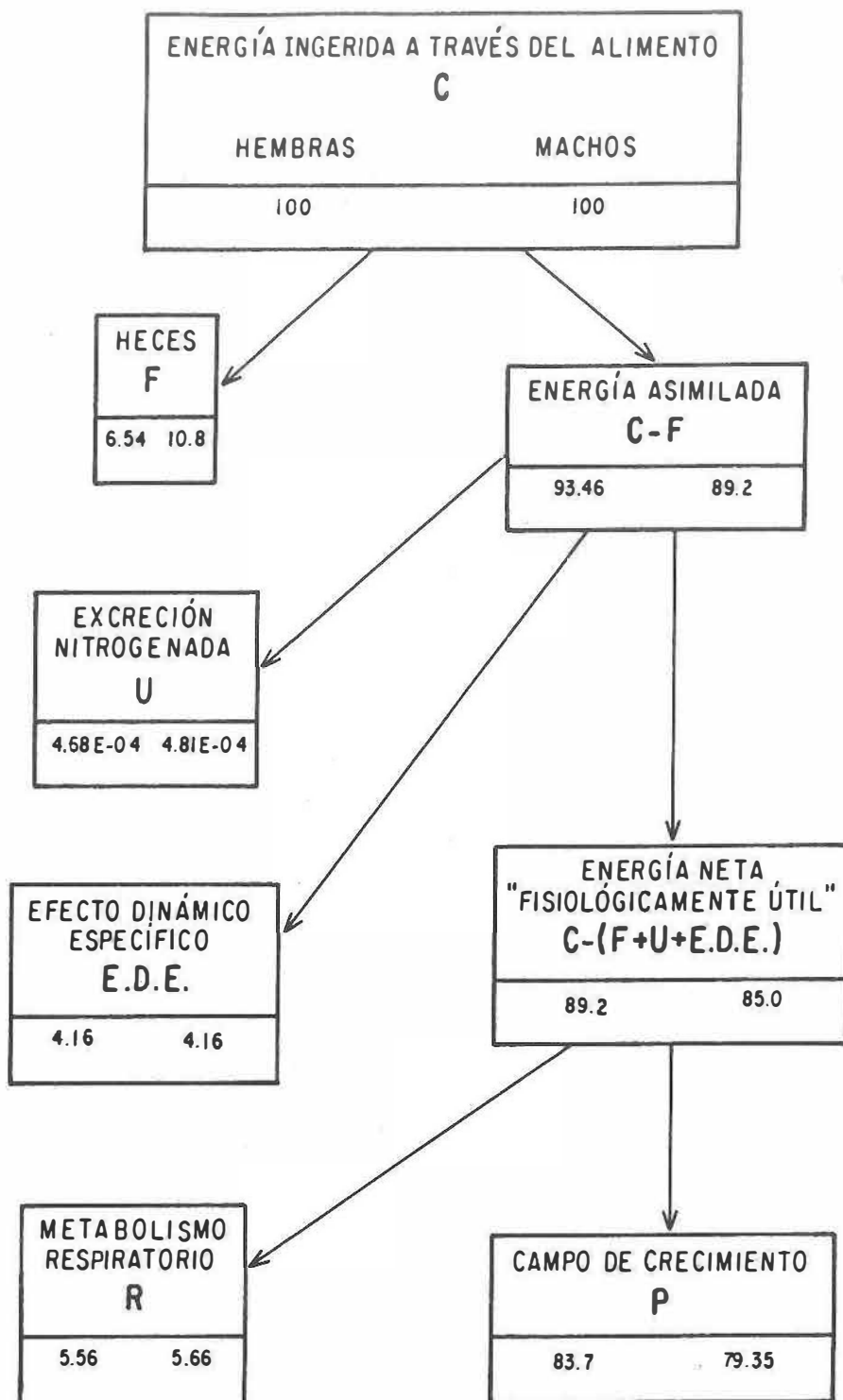


Figura 4. Distribución porcentual de la energía del alimento consumido en los diferentes parámetros de la ecuación del balance energético por las hembras y los machos adultos ablacionados de *Procambarus clarkii*.

Tabla VII.- Energía asimilada (A) y fisiológicamente útil (As), Eficiencia de conversión bruta (K₁) y neta de crecimiento (K₂) de las hembras y los machos adultos de *Procambarus clarkii* normales y con ablación, expresados en (%).

	NORMALES		ABLACIONADOS	
	HEMBRAS	MACHOS	HEMBRAS	MACHOS
A	90.2a	90.5a	93.5b	89.2c
As	85.8a	86.0a	89.1b	85.0a
K ₁	79.1a	79.3a	84.0b	79.4a
K ₂	87.8a	87.5a	88.5b	89.0b

Los valores en el mismo renglón seguidos por la misma letra indican que no existen diferencias significativas ($\alpha=0.05$).

De la misma manera, la cantidad de energía neta o fisiológicamente útil (A_s) en las hembras ablacionadas ATU, fue mayor de 3% a 4% ($P < 0.05$) con respecto a los animales normales de ambos sexos y a los machos de la misma condición experimental, respectivamente (Tabla VII).

Los índices de crecimiento bruto (K_1) y neto (K_2) en los machos y las hembras normales y ablacionados se presentan en la tabla VII. Los porcentajes de la eficiencia de conversión del alimento consumido K_1 y asimilado K_2 en los animales normales, fue de 79.1% y 79.3% y de 87.8% y 87.5%, para las hembras y los machos, respectivamente; mientras que en los animales ATU el K_1 fue de 84.0% y 79.4% y el K_2 de 88.5% y 89.0%. Los valores del crecimiento bruto (K_1) entre los animales normales y los machos operados no fueron diferentes entre sí, en tanto que este índice de crecimiento en las hembras operadas fue significativamente mayor un 5%, con respecto a los tres grupos anteriores ($\alpha = 0.05$). El índice de crecimiento neto (K_2) en los animales ablacionados de ambos sexos fue significativamente mayor ($P < 0.05$) comparado con el de los normales (Figura 5).

El consumo de oxígeno en las fases de día y noche del los animales normales como operados de ambos sexos, no fue estadísticamente diferente ($\alpha = 0.05$). El consumo de oxígeno de los acociles en los cuatro grupos no fue afectado por el incremento de temperatura de 24 °C a 26 °C durante el día y la noche, respectivamente (Figura 6).

En los animales normales la excreción nitrogenada fue de 1.31E-03% a 2.9E-03% en el día y de 1.36E-03% a 3.0E-03% en la noche, mientras que en los acociles operados fue de 1.43E-04% a 3.2E-04% y de 1.47E-04% a 3.3E-04%, durante el día y la

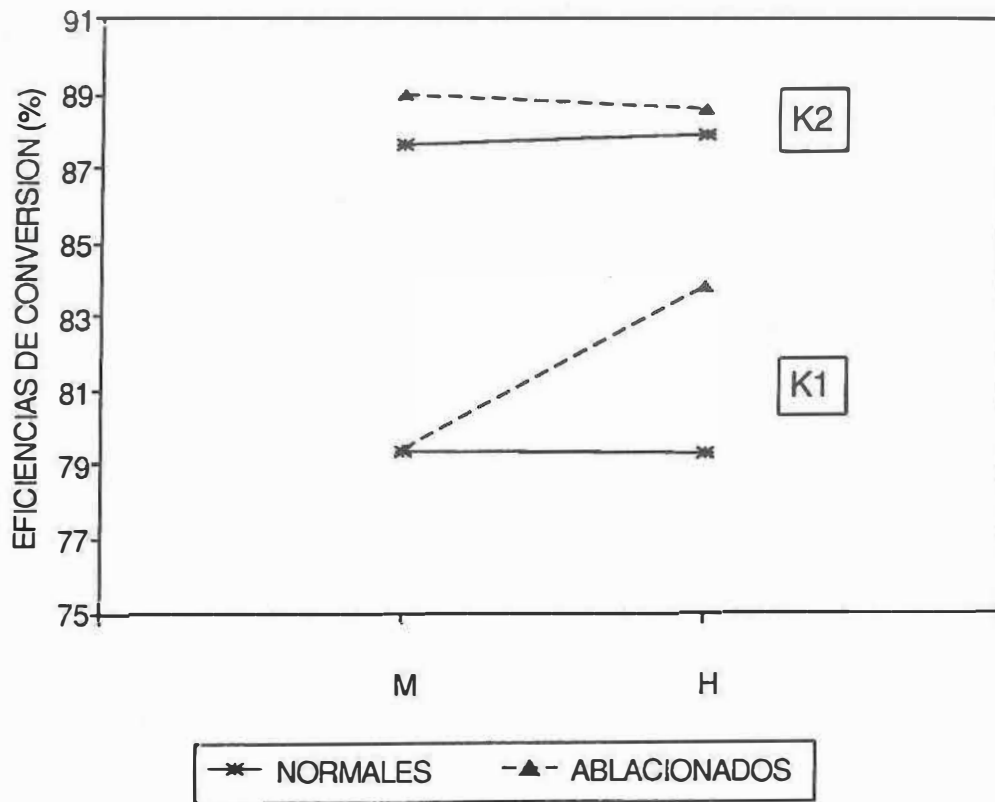


Figura 5. Eficiencia de crecimiento (%) bruta K_1 y neta K_2 , en organismos (M) machos y (H) hembras normales y ablacionados, del acocil *Procambarus clarkii*.

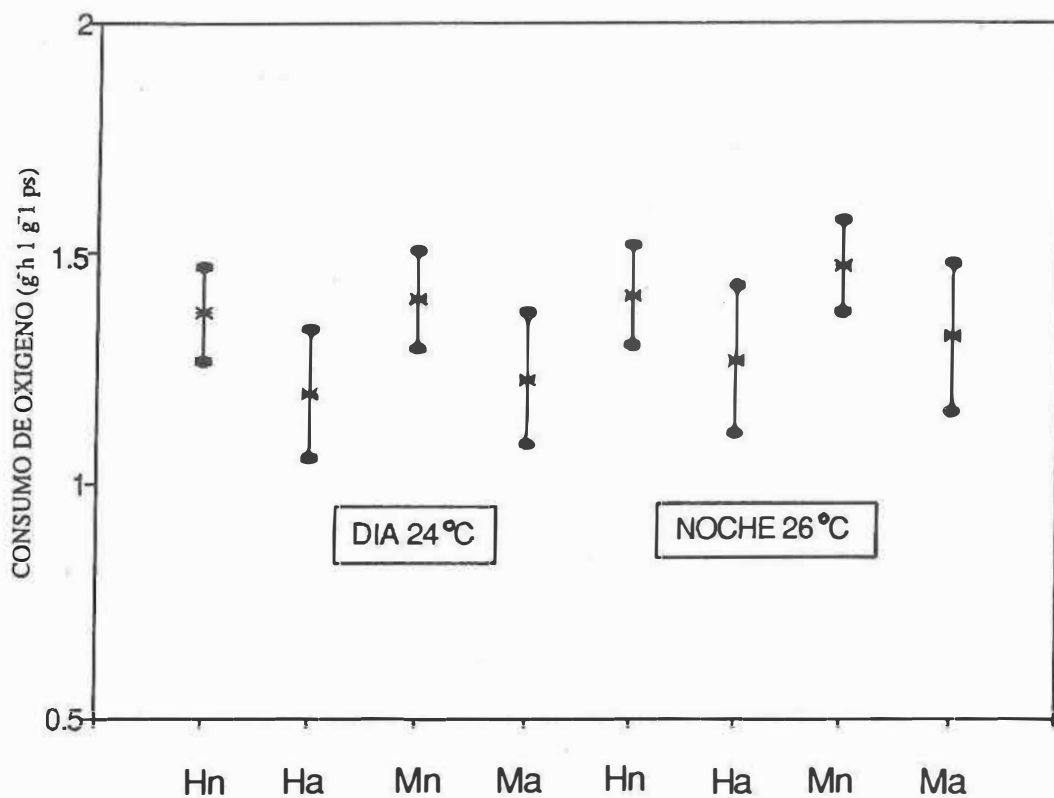


Figura 6. Consumo de oxígeno ($\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ps}$) en organismos hembras normales (Hn) y ablacionadas (Ha), machos normales (Mn) y ablacionados (Ma) del acocil *Procambarus clarkii*. Medias \pm E.E.

noche respectivamente. La producción de amoníaco en *Procambarus clarkii* fue mayor ($\alpha = 0.05$) en la noche (Figuras 7 y 8).

Los valores calculados en la relación atómica O:N en las hembras normales y ablacionadas fueron de 28.26 y 27.95 y en los machos de 28.26 y 28.70, respectivamente. Estos valores muestran que tanto las hembras como los machos, normales y ablacionados, tuvieron un metabolismo oxidativo no proteico, utilizando a los carbohidratos como la principal fuente de energía para cubrir sus requerimientos metabólicos (Tabla VIII).

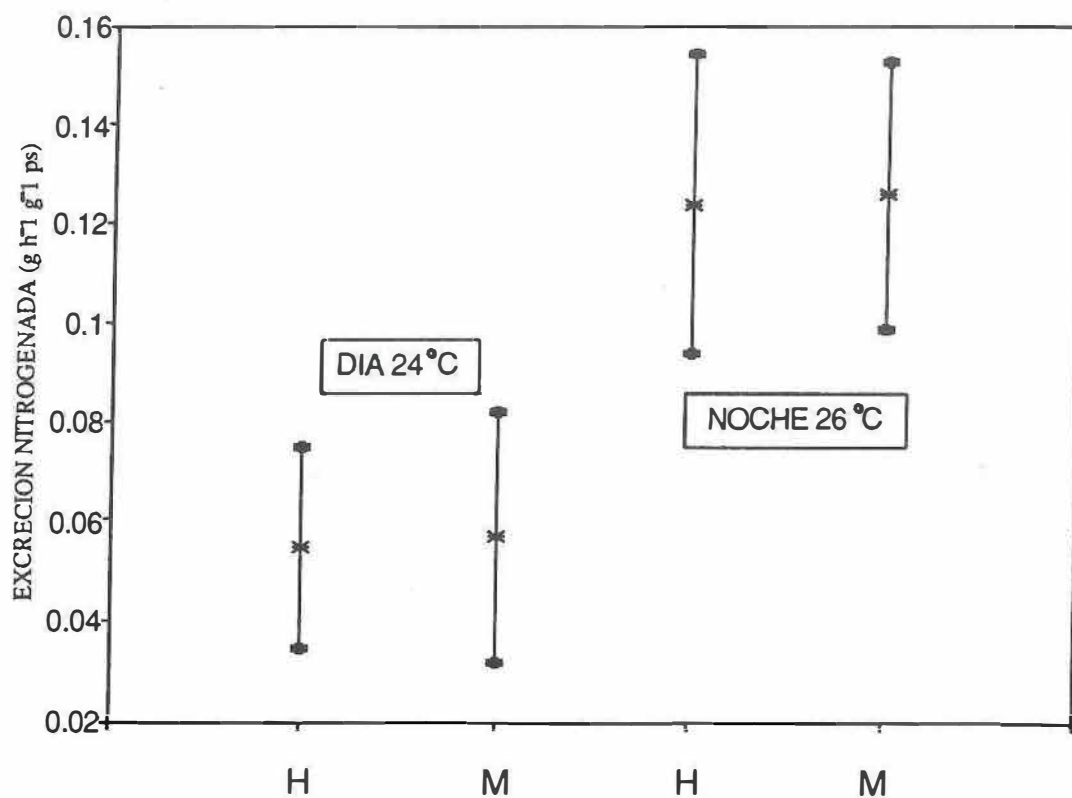


Figura 7. Excreción nitrogenada ($\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ps}$) día - noche en organismos normales (M) machos y (H) hembras, del acocil *Procambarus clarkii*. Media \pm E.E.

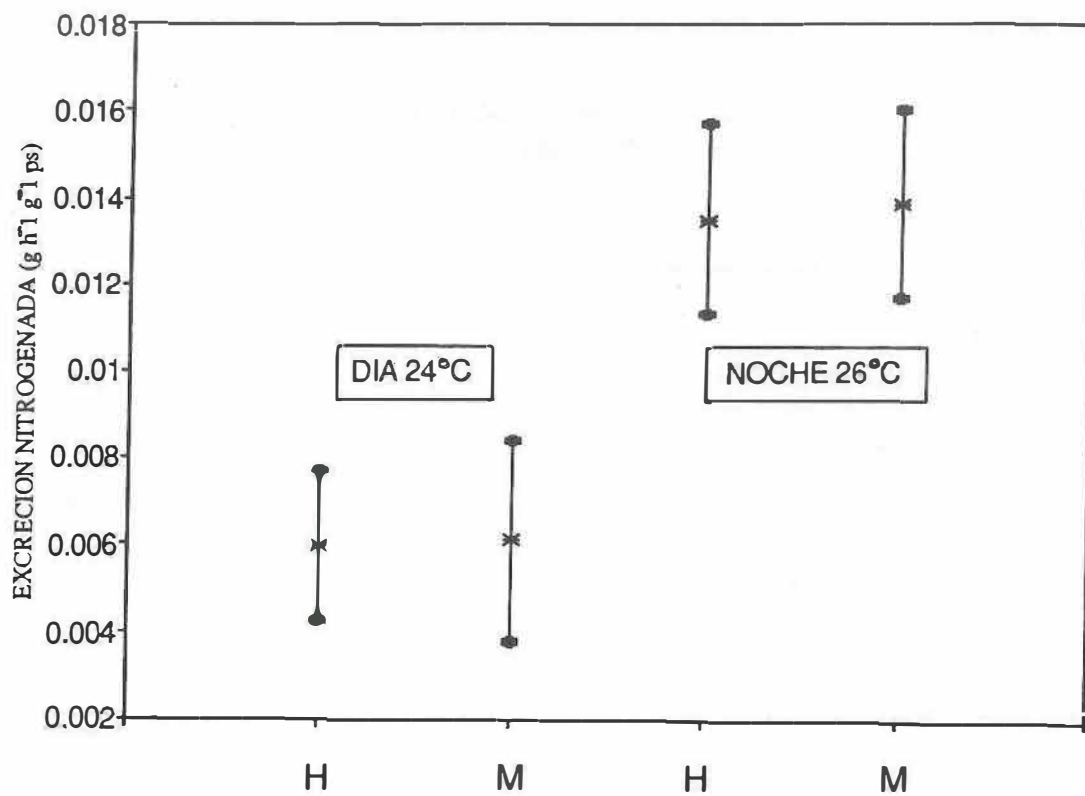


Figura 8. Excreción nitrogenada ($\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ps}$) día - noche en organismos ablacionados (M) machos y (H) hembras, del acocil *Procambarus clarkii*. Media \pm E.E.

Tabla VIII.- Relación atómica (O:N). calculada para las hembras y los machos normales y ablacionados de *Procambarus clarkii*.

	NORMALES	ABLACIONADOS
H E M B R A S	28.26	27.95
M A C H O S	28.26	28.70

IV.- DISCUSIÓN

La mortalidad, consecuencia de la ablación del pedúnculo ocular en los crustáceos ha sido asociada al efecto adverso que tiene esta operación sobre diferentes procesos fisiológicos, provocando fuertes alteraciones metabólicas (Mauviot y Castell 1976; Castell, *et al.*, 1977; Ponnuchamy *et al.*, 1980; Choy, 1987; Chakravarty, 1992; Chu y Chow, 1992). La mortalidad de *Procambarus clarkii* también se incrementó con la ablación de uno o ambos pedúnculos oculares. Los resultados obtenidos en el presente estudio corroboran lo obtenido por Primavera y Borlogan,(1977) y Aquacop (1979), quienes encontraron que remover un solo pedúnculo ocular (ablación unilateral), reduce los efectos metabólicos adversos y el porcentaje de mortalidad, ya que el déficit hormonal producido por la ablación bilateral puede ser compensado por la regulación hormonal del pedúnculo ocular que queda intacto.

Se ha reportado que la ablación de los pedúnculos oculares incrementa la frecuencia de muda Radhakrishnan y Vijayakumaran (1984), Sindhu y Pandian (1987); Brito y Díaz (1987a); Choy (1987); Anon (1984). En este estudio fue mayor el número de organismos operados (ATU), que mudaron durante el período de experimentación. Radhakrishnan y Vijayakumaran (1984) mencionan que la aceleración en la frecuencia de muda en los animales ablacionados, está en función del período del ciclo de muda en el que se encontraban los animales cuando fue hecha la ablación. Posiblemente los acociles no se encontraban en la misma fase del ciclo de muda cuando se les practicó la ablación unilateral del pedúnculo ocular, por lo que no se obtuvo un incremento significativo en la frecuencia de muda.

El aumento del consumo de alimento o hiperfagia causado por la ablación del pedúnculo ocular de 2.5 a 75% fueron reportados en el camarón *Penaeus monodon*, en langosta *Panulirus argus* y en el langostino *Macrobrachium rosenbergii* (Vijayakumaran y Radhakrishnan, 1984; Sierra, 1991; Sindhu y Pandian, 1991). Nakatani y Otsu, (1980) reportaron que el apetito en juveniles ablacionados de la misma especie se incrementa considerablemente. En el presente estudio se observó un incremento del 5% en el consumo de alimento en ambos sexos de *Procambarus clarkii*. Los animales ablacionados total y unilateralmente estuvieron sometidos a la interacción constante de la hormona de la muda (HM) y por tanto, su metabolismo requirió de mayores cantidades de proteínas para los procesos de síntesis, lo que se evidenció por el hecho de que los organismos ingirieron mayores cantidades de alimento.

La cantidad de energía derivada a la producción de heces por *Procambarus clarkii* fueron similares a los reportados para *Cherax tenuimanus* (Villarreal, 1991), *Macrobrachium rosenbergii* (Díaz *et al.* 1992). Baron *et al.* (1994), reportó valores menores a los de este estudio en juveniles normales de *P. clarkii*. De acuerdo con Díaz *et al.* (1992) y Villarreal (1991), las variaciones de los valores pueden deberse a que la producción fecal esta relacionada con la cantidad del alimento ingerido.

En este estudio se observó que la cantidad de energía que destinaron los organismos ablacionados al metabolismo respiratorio de rutina fue menor comparado con los normales. Por el contrario, Radhakrishnan y Vijayakumaran (1984), observaron un aumento en el consumo de oxígeno después de la ablación en *Panulirus homarus*, relacionado posiblemente a los cambios fisiológicos que provoca la oculoctomía. Los

resultados obtenidos con *Procambarus clarkii* concuerdan a los reportados con *Panulirus argus* por Brito y Díaz (1987b), donde la intensidad del metabolismo respiratorio en los animales operados fue menor, sugiriendo que hubo una mayor eficiencia de utilización y transporte del oxígeno hacia los diferentes tejidos, lo cual disminuyó la energía invertida en el bombeo de la hemolinfa.

Con el ciclo diario de temperatura día-noche al que se sometió a *Procambarus clarkii* el metabolismo respiratorio de rutina no fue afectado por el incremento en la temperatura de 24 °C a 26 °C. Estos resultados sugieren que *P. clarkii* está adaptado a soportar estas variaciones de temperatura y confirman que estas temperaturas son el *preferendum* final seleccionado por esta especie (Bückle *et al.*, 1994). De acuerdo a lo mencionado por Taylor (1984), este comportamiento del metabolismo respiratorio de rutina está relacionado con las fluctuaciones de la temperatura que ocurren en el habitat natural de *P. clarkii*.

Desde el punto de vista bioenergético este comportamiento puede favorecer el balance energético de *Procambarus clarkii*, ya que por encontrarse en un intervalo de temperaturas fisiológicamente favorables minimiza el costo energético del metabolismo respiratorio e incrementa la cantidad de energía disponible para el campo de crecimiento.

En un organismo el costo metabólico asociado con el E.D.E., constituido por la digestión y la transformación del alimento se evidencia por un incremento en el consumo de oxígeno (Nelson *et al.*, 1977; Nelson *et al.*, 1985). Jobling (1983), considera que el E.D.E., está relacionado estrechamente con el crecimiento y menciona tres posibles mecanismos para explicar el proceso de alimentación y el costo de la digestión: trabajo

intestinal (asimilación); oxidación de aminoácidos y síntesis de productos de desecho; síntesis de proteínas y crecimiento.

La tasa metabólica de rutina después de alimentar a *P. clarkii* en este estudio fue 8.6% menor en los animales ablacionados que en los normales. Koshio *et al.* (1992), encontraron que hubo una disminución del efecto dinámico específico en un intervalo de 2 a 20% en langostas juveniles de *Homarus americanus* ablacionadas. Sin embargo, mencionan que es difícil precisar de qué manera los pedúnculos oculares están involucrados en este proceso, debido a que en los procesos de digestión influyen varios factores, como son la digestibilidad, la calidad de la dieta así como diferentes órganos y enzimas.

A pesar de las diferencias que se encontraron en la tasa metabólica de rutina seguida a la ingestión de alimento entre los acociles normales y ATU, el porcentaje de energía derivada al E.D.E., por los animales ablacionados total y unilateralmente fue menor, pero no estadísticamente diferente al de los organismos normales. Koshio *et al.* (1992), sugiere que las diferencias encontradas en el efecto calorigénico del alimento en langostas normales y ablacionadas, posiblemente estén relacionadas con el requerimiento de una mayor cantidad de proteínas necesarias para maximizar el crecimiento.

La cantidad de energía derivada en la excreción nitrogenada por *Procambarus clarkii* normales tuvo un intervalo de 1.31E-03 a 1.36E-03. Baron *et al.* (1994), reportó valores similares en la excreción amoniacal en juveniles de la misma especie alimentados con la misma dieta. La ablación unilateral del pedúnculo ocular en este estudio disminuyó la tasa de excreción de desechos nitrogenados, así como la cantidad

de energía derivada en este proceso. Koshio *et al.* (1992), encontraron también que la tasa de excreción de amonio de *Homarus americanus* disminuyó de 63% a 1% en las langostas ablacionadas unilateralmente. Por el contrario, se ha reportado un incremento del 60% en la tasa de excreción de productos nitrogenados como resultado de la ablación bilateral de *Macrobrachium lanchesteri*, en tanto que la ablación unilateral de *Macrobrachium rosenbergii* no afectó esta tasa de excreción, ni la cantidad de energía invertida en este proceso (Ananthakrishnan *et al.* 1981; Sierra, 1991; Sindhu y Pandian, 1991). Es decir que estos resultados demuestran que la ablación del pedúnculo ocular está relacionada directa o indirectamente con la excreción nitrogenada; Regnault (1979), ya había reportado al sistema neuroendocrino del pedúnculo ocular como el principal responsable en la regulación de la excreción de amonio. Probablemente la disminución en la excreción nitrogenada en los animales ablacionados está involucrada con el control del metabolismo de las proteínas, ya que los animales ablacionados utilizan las proteínas suministradas en la dieta más eficientemente, de tal manera que se catabolizan menos aminoácidos.

El aumento de la tasa de excreción nitrogenada en *Procambarus clarkii* durante la noche tanto en los animales normales como ablacionados ATU, parece estar relacionada directamente con el período de alimentación. Bückle *et al.* (1994), reportaron que *P. clarkii* en Baja California muy probablemente se alimenta durante la transición de temperaturas en un ciclo de 24.0 °C durante el día y de 26.0 °C en la noche. Se ha demostrado (Nelson *et al.*, 1977) que el efecto dinámico específico está relacionado con el metabolismo de las proteínas y en especial con la desaminación de las mismas, lo

cual se vió reflejado en la magnitud de la tasa de excreción de productos nitrogenados durante la noche en *P. clarkii*.

En el caso de los organismos adultos, el crecimiento neto o campo de crecimiento puede ser interpretado como la cantidad de energía invertida en la reproducción o en la síntesis de tejido. La ablación puede acelerar el ciclo de muda o el desarrollo de la gónada en los organismos, pero estos procesos no ocurren de manera simultánea. Uno de los procedimientos para acelerar el crecimiento de los crustáceos decápodos de interés comercial, es la ablación de los pedúnculos oculares con la intención de eliminar la producción de la hormona inhibidora de la muda producida por el complejo neurosecretor órgano X-glándula del seno.

Ramos y Torras (1986); Millamena y Catacutan (1990), encontraron que la ablación incrementa la deposición de lípidos en el hepatopancreas y la maduración gonadal en *Penaeus monodon*, *P. orientalis* y *P. aztecus*. En tanto que Choy (1987), reportó que obtuvo mayores tasas de crecimiento al ablacionar camarones de *Penaeus canalicatus*. Brito y Díaz (1987a), reportaron en *Panulirus argus* un mayor crecimiento en peso y talla del 40% en las langostas ablacionadas. Mauviot y Castell (1976), informaron incrementos en peso de 5 veces en las langostas ablacionadas. Radhakrishnan y Vijayakumaran (1984), reportaron incrementos de 3 a 7 veces en *Panulirus homarus*. Perez y Díaz (1993), observaron que la energía potencial para el crecimiento fue de 2.77% a 5.53% mayor en los langostinos ablacionados de *Macrobrachium rosenbergii*. En este trabajo también se encontró que la energía canalizada hacia el campo de crecimiento de *Procambarus clarkii* fue mayor en los animales ablacionados. Chavana et al. (1993), mencionan que el efecto de la ablación peduncular acelera el desarrollo

gonadal o la ecdisis en *P. clarkii* dependiendo de la etapa del ciclo de muda en la que se encuentre el organismo al momento de la extirpación.

Por el contrario, Petriella y Díaz (1987); Chu y Chow (1992), al ablacionar organismos de *Artemesia longinaris* y *Penaeus chinensis* encontraron que se aceleró el ciclo y la tasa de muda más de dos veces, sin que hubiera diferencia en el crecimiento entre los animales normales y operados. Las altas tasas de muda no implican necesariamente un incremento en peso del organismo, ya que es durante el período de intermuda se reemplaza el agua absorbida en la muda por tejido. El período de intermuda se acorta en los organismos ablacionados.

Las diferencias observadas en el campo de crecimiento entre las hembras y los machos ablacionados en este trabajo concuerdan con las reportadas por Rosas *et al.* (1993); Sindhu y Pandian (1987); Choy (1987). Estos trabajos tampoco explican los mecanismos que generan las diferencias entre los sexos en los animales ablacionados. Posiblemente estas diferencias estén relacionadas con la cantidad de energía diferencial que las hembras y los machos invierten en la reproducción. Choy (1987), menciona también que, al parecer, los machos tienen un período de intermuda mayor y un incremento en peso menor que las hembras por muda, de tal manera que la tasa de crecimiento de los machos normales y ablacionados llega a ser el mismo en organismos adultos, mientras que en las hembras no se observa esta convergencia.

El intervalo de valores en las eficiencias de crecimiento para *Procambarus clarkii* en este estudio fue de 79% a 84% para el K1 y de 87% a 89% para el K2. Baron *et al.* (1994), reportó valores del 75% a 85% y del 83% al 92% para el K1 y K2 en juveniles normales de la misma especie. Sierra (1991), reportó valores de 91% a 94% y de 93% a 96% para el K1 y K2 en postlarvas y juveniles de *Macrobrachium rosenbergii*. A pesar de que la

eficiencia de conversión del alimento consumido a crecimiento o eficiencia de crecimiento bruto K1, en los machos ablacionados ATU no fue diferente al de los animales normales. Sin embargo, la eficiencia de conversión del alimento asimilado a crecimiento o eficiencia de crecimiento neta K2 en ambos sexos de *P. clarkii*, fueron mayores en los animales ablacionados lo que concuerda con Sindhu y Pandian (1987); Vijayakumaran y Radhakrishnan, (1984).

Estos resultados indican que la ablación unilateral del pedúnculo ocular puede ser utilizada para incrementar la cantidad de energía disponible hacia el campo de crecimiento en ambos sexos de *Procambarus clarkii*, como resultado de tres mecanismos; la hiperfagia, la eficiencia de conversión del alimento a crecimiento neto y a los bajos porcentajes de energía perdidos en el metabolismo respiratorio y excreción nitrogenada.

La relación atómica O:N, utilizada 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 (Conover y Corner, 1968; Bayne y Scullard, 1977; Regnault, 1981). Los valores obtenidos en el O:N para *Procambarus clarkii* en este trabajo refleja que los animales tuvieron un catabolismo no proteico, ya que tanto los animales normales y ablacionados utilizaron los carbohidratos para cubrir sus requerimientos metabólicos. Valores similares han sido reportados para *Palaemonetes varians* de 34.2, para *Homarus americanus* de 22.1 a 26.4, para *Macrobrachium rosenbergii* de 33.7 y de 21.42 a 58.5 en langostinos normales y de 10.85 a 37.04 en los langostinos ablacionados (Snow y Williams, 1971; Capuzzo y Lancaster, 1979; Clifford y Brick, 1979; Stern *et al.*, 1984).

Esto permite concluir que en *Procambarus clarkii* las proteínas proporcionadas por la dieta fueron utilizadas para la síntesis de tejido y fueron más eficientemente usadas por los acociles ablacionados, ya que estos tuvieron una mayor eficiencia de crecimiento neto y canalizaron mayores cantidades de energía hacia el campo de crecimiento.

Las implicaciones que tienen los resultados obtenidos en este estudio indican que la técnica de la ablación unilateral del pedúnculo ocular puede utilizarse en *Procambarus clarkii* para acelerar el campo de crecimiento y en consecuencia una reproducción más controlada.

V.- CONCLUSIONES

*La importancia de investigar el efecto de los factores que inciden sobre el crecimiento de los organismos de interés acuicucultural como la ablación de los pedúnculos oculares, pueden utilizarse para establecer y mejorar biotécnicas al acelerar la tasa de crecimiento y para optimizar la reproducción . Los resultados que se obtuvieron para *Procambarus clarkii* en esta investigación son:

*El porcentaje de sobrevivencia de *Procambarus clarkii* disminuyó con la ablación de ambos pedúnculos oculares. No se recomienda utilizar la ablación bilateral en esta especie en cambio la ablación unilateral redujo los efectos metabólicos adversos y el porcentaje de mortalidad.

*La ablación unilateral del pedunculo ocular provocó un aumento en el consumo de alimento o hiperfagia en las hembras y en los machos de *P. clarkii*.

*El incremento en la tasa metabólica seguida a la ingestión de alimento fue menor en las hembras y los machos con ablación total unilateral.

*En los animales ablacionados unilateralmente se redujeron las pérdidas energéticas involucradas en el metabolismo respiratorio de rutina y en la excreción nitrogenada.

*La cantidad de energía canalizada hacia el campo de crecimiento y la eficiencia de conversión del alimento a crecimiento neto fue mayor en los animales ablacionados.

*El consumo de oxígeno de *Procambarus clarkii* durante las fases de día y noche no fue afectado por el incremento de temperatura de 24°C a 26°C, lo cual confirma a

estas temperaturas como el *preferendum* final diurno y nocturno de esta especie previamente determinado por Bückle, et al. (1994).

*El aumento en la excreción nitrogenada en la noche estuvo directamente relacionada con el período de alimentación de *Procambarus clarkii*.

*La ablación unilateral del pedúnculo ocular puede ser utilizada para incrementar el campo de crecimiento en ambos sexos de *Procambarus clarkii* como resultado de tres mecanismos : la hiperfagia, la eficiencia de conversión del alimento a crecimiento neto y a los bajos porcentajes de energía perdidos en el metabolismo respiratorio y producción de desechos nitrogenados.

*Los carbohidratos fueron el principal sustrato metabólico utilizado para cubrir los requerimientos metabólicos de los animales normales como ablacionados, lo que permite concluir que las proteínas suministradas en la dieta fueron utilizadas para la síntesis de tejido y éstas fueron más eficientemente utilizadas por los animales ablacionados, ya que estos presentaron una mayor eficiencia de crecimiento y canalizaron mayores cantidades de energía hacia el campo de crecimiento.

LITERATURA CITADA

- Ananthakrishnan, K. V.; S. Katre y S. R. Reddy. 1981. Influence of endogenous factors on the pattern of ammonia excretion in the prawn *Macrobrachium lanchesteri* (de Man). *Indian. J. Exp. Biol.* 19: 42-45.
- Anon, 1984. Eyestalk ablation. New idea boost growth of indian spiny lobster *Fish. Farming. International.* 7: 20-21.
- Anon, 1989. Aquaculture evolution. *Peche. Marit.* 68(1331): 305-312.
- Adiyody, K. G. y R. G Adiyody. 1970. Endocrine control of reproduction in decapod crustacea. *Biol. Rev.* 45: 121-165.
- Aquacop, 1979. Penaeid reared broodstock: closing the cycle of *Penaeus monodon*, *Penaeus stylirostris* and *Penaeus vanamei* Proc. 10th. Annu. Meet. World. Maricult. Soc. 12pp.
- Barber, B. J. y N. J Blake. 1985. Substrate catabolism related to production in the body scallop *Argopecten irradians* as determined by O/N and RQ physiological indexes. *Mar. Biol.* 13-18.
- Baron, S. B. 1993. Bioenergética de *Procambarus clarkii* (Girard) (Decapoda: Cambaridae). Tesis de Maestría. C.I.C.E.S.E. México. 46 pp.
- Baron, S. B; H. F. Díaz y L. F. R. Bückle. 1994. Energy budget for the red swamp crawfish *Procambarus clarkii* (Crustacea, Cambaridae). *Revista Italiana Acquacoltura.* 29: 103-107.
- Bayne, B. L. y C. Scullard, 1977. Rates of nitrogen excretion by species of *Mytilus* (Bivalvia:Mollusca) *J. Mar. Biol. Ass. Uk.* 57: 355-369.
- Brito, P. R. y I. E. Díaz. 1987a. Efectos de la ablación del complejo neurosecretor peduncular en juveniles de langosta, *Panulirus argus* 1. Crecimiento. *Rev. Inves. Mar.* 8(2): 67-80.

- Brito, P. R. y I. E. Díaz. 1987b. Efectos de la extirpación unilateral de pedunculos oculares sobre el consumo de oxígeno en juveniles de langosta, *Panulirus argus*. *Rev. Inves. Mar.* 8(3): 71-78.
- Brody, S. 1954. Bioenergetics and growth. Reinhold Publ. Corp. New. York., U.S.A. 311pp.
- Browdy, C. L. y T. M. Samochoa. 1985. The effect of eyestalk ablation on spawning, moulting and mating of *Penaeus semisulcatus* de Haan. *Aquaculture* 49: 19 - 29.
- Bruce, M. J. y E. S. Chang. 1984. Demostration of a molt inhibiting hormone from the sinus gland on the lobster, *Homarus americanus*. *Comp. Biochem. Physiol.* 79 A (3): 421-424.
- Bücker, L. F; Díaz, H. F; Correa, S. F; Baron, S. B. y M. R. Hernandez. 1994. Diel thermoregulation of crawfish *Procambarus clarkii* (Crustacea, Cambaridae). *J. therm. Biol.* 19(6). in press.
- Campos, E. y G. A. Rodríguez. 1992. Distribution of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (Decapoda:Cambaridae) in Mexico: an update. *J. Crustacean Biol.* 12 (4): 627-630.
- Capuzzo, M. J. y A. B. V. Lancaster, 1979. Some physiological and biochemical considerations of larval development in the american lobster, *Homarus americanus*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 40: 53-62.
- Castell, J. D; J. F Covery. D. E. Aiken y S. L. Waddy. 1977. The potential for eyestalk ablation as a technique for accelerating growth of lobsters, (*Homarus americanus*) for comercial culture. *Proceedings. Eighth Annual. Meeting world. Mariculture. Society.* 8:895-913.
- Chakravarty, M. S. 1992. Effect of eyestalk ablation on moulting and growth in prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Indian Journal of Marine Sciences.* 21: 287-289.
- Chamberlain, G. W. y A. Lawrence, 1981. Effect of light intensity and male and female eyestalk ablation on reproduction of *Penaeus stylirostris* and *Penaeus vanamei*. *J. World. Maricul. Soc.* 12(2): 357-372.

- Chavana, T. A; G. A. Rodríguez; D. Ricque y F. J. M. Alvarez. 1993. Efecto de la ablación unilateral del pedúnculo ocular sobre la muda y el desarrollo gonadal en hembras del acocil *Procambarus clarkii* (Decapoda: Cambaridae). Memorias del XII Congreso Nacional de Zoología. 60-61.
- Choy, C. S. 1987. Growth and reproduction of eyestalk ablated *Penaeus canallicatus* (Crustacea:Penaeidae). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 112: 93-107.
- Chu, K. H. y W. K. Chow, 1992. Effect of unilateral versus bilateral eyestalk ablation on moulting and growth of the shrimp, *Penaeus chinensis* (Obsbeck, 1765) (Decapoda, Penaeidea). *Crustaceana.* 62(3): 225-233.
- Coll, M. J. 1982 Acuicultura marina animal. Mundi-prensa. Madrid, España. 150-313 pp.
- 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. Uk.* 48: 49-75
- Cordero E. B. y D. Voltolina. 1990. Short-term evaluation of three pelletized diets for red swamp crayfish *Procambarus clarkii*. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol* 17: 147-152.
- Clifford, H. C. y R. W. Brick. 1979. A physiological approach to the study of growth and bionergetics in the freshwater shrimp *Macrobrachium rosenbergii*. *Proc. World. Maricul. Soc.* 10: 710-719.
- Díaz, H. F. 1989. Estudio ecofisiológico del langostino gigante *Macrobrachium rosenbergii*. Tesis Doctoral. Fac. Ciencias U.N.A.M. México. 110 pp.
- Díaz, H. F., Juárez C. G., Perez C. E. y R. L. F. Bückle. 1992. Balance energético de postlarvas y juveniles del langostino malayo *Macrobrachium rosenbergii* de Man (Crustacea:Palaemonidae). *Ciencias Marinas* 18(2): 19-32.
- Díaz, I. E. 1988. Aspectos de la fisiología de los organismos acuáticos. Editorial Pueblo y Educación. Cuba. 118 pp.
- Elliot, J. M. y W. Davison, 1975. Energy equivalents of oxygen in animals energetics. *Oecologia.* 19: 195-201.

- Emmerson, W. D. 1983. Maturation and growth of ablated and unablated *Penaeus monodon* Fabricius. *Aquaculture*. 32 (3-4): 235-242.
- Espina, S., Díaz H. F y L. F. Bückle. 1993. Preferred and avoided temperatures in the crawfish *Procambarus clarkii* (Decapoda, Cambaridae). *J. therm. Biol.* 18: 35-39.
- Gerking, S. D. 1978. Ecology of freshwater fish production. Blackwell Scientific Publication. London 184-214.
- Gilgan, M. W. 1980. The inhibition of normal molting in the adul male lobster (*Homarus americanus*) by ecdyesterone treatment. *Comp. Biochem. Physiol.* (65): 207-209.
- Gnaiger, E. 1983. Calculation of energetic and biochemical equivalents of respiratory oxigen consumption p. 337-345. In: Polarographic oxygen sensor (E. Gnaiger y H. Forstner Ed.) Springer, Berlin. 500 pp.
- Hobbs, H. H. III, J. P. Jass y J. V. Huner, 1989. A review of global crayfish introduction with particular emphasis on two North America species (Decapoda, Cambaridae). *Crustaceana* 56: 299-316.
- Holdrich, D. M. y R. S Lowery. 1988. Freshwater crayfish. Biology, management and explotation. Croom Helm. Vol. 9: *Procambarus* in North America and elsewhere.pp 239-261.
- Holtschmit, M. K. H. 1988. Manual técnico para el cultivo y engorda del langostino malayo. Fondepesca. México. 128 pp.
- Huang, S; L. Bor-Yu y C. Jian-chyl. 1981. Effects of eyestalk ablation on growth and molt of freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Bull. Inst. Zool.* 20(2): 41-47.
- Huner J. V. y J. E Barr. 1984. Red swamp crawfish, biology and exploitation. The Luisiana Sea Grant College Program Center for Wetland Resources Louisiana State University Baton Rouge, Louisiana. 135pp.
- Huner. J. V. 1988. Culture of white river (*Procambarus acutus acutus*) and red swamp (*Procambarus clarkii*) crawfishes: An Update. prepared for: *Proceeding of the Anual Meeting of the Western Australian Marron Growrs Association*.

- Jobling, M. 1983. Towards an explanation of specific dynamic action (SDA). *J. Fish. Biol.* 23: 549-555.
- Klekowsky, R. Z. y A. Duncan. 1975. Physiological approach to ecological energetics p. 15-56. En: *Methods for ecological bionergetics* (Grodzinski, W; R. Z. Klekowsky and Duncan Eds). I.B.P. Blackwell. Sci. Pub. Oxford. 100 pp.
- Koshio, S; J. D. Castell y R. K. O'Dor. 1992. The effect of different dietary energy levels in crab-protein-based diets on digestibility, oxygen consumption, and ammonia excretion of bilateral eyestalk-ablated and intac juvenile lobster, *Homarus americanus*. *Aquaculture*. 108: 185-297.
- Mauviot, J. C. y J. D. Castell, 1976. Molt and growth enhancing effects of bilateral ablation on juvenile and adult american lobster (*Homarus americanus*). *J. Fish. Res. Board. Can.* 33: 1922-1929.
- Mayazud, P. y R. J. Conover, 1988. O:N atomic ratio as a tool to describe zooplankton metabolism. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 45: 289-302.
- Millamena O. M. y M. R. Catacutan, 1990. Variation in tissue lipid content and fatty acid composition of unablated female *Penaeus monodon* Fabrisius. *Mar Biol.* 98: 217-221.
- Naya, Y; M. Ohnishi; M. Ikeda, W. Miki and K. Nakanishi 1989. What is molt-inhibiting hormone? The role of an ecdysteroidogenesis inhibitor in the crustacean molting cycle. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* 86:6826-6829.
- Nakatani, I. y T. Otsu. 1979. The effect of eyestalk, leg and uropod removal on the moulting and growth of young crayfish, *Procambarus clarkii*. *Bioll. Bull.* 157: 182-188.
- Nakatani, I. y T. Otsu. 1980. Relations between the growth and molt interval in the eyestalkless crayfish, *Procambarus clarkii*. *Com Biochem. Physiol.* 68(A): 549-553.

- Nelson, S. G; A. W. Knight y H. W. Li. 1977. The metabolic cost of food utilization and ammonia production by juvenile *Macrobrachium rosenbergii* (Crustacea:Palaemonidae) with regard to trophic position. *Com. Biochem. Physiol.* 58(A): 319-327.
- Nelson, S. G; M. A. Simmons y A. W. Knight. 1985. Calorigenic effect of diets the grass shrimp *Crangon fransiscorum* (Crustacea : Crangonidae). *Comp. Biochem. Physiol.* 82 (2): 373 - 376.
- Perez M. E. y F. H. Díaz, 1993. Balance energético de juveniles de *Macrobrachium rosenbergii* con ablación del pedúnculo ocular sometidos a diferentes fotoperíodos. Memorias del XII Congreso Nacional de Zoología. 57-58.
- Petriella, A. M. y A. C. Diaz. 1987. Influence of eyestalk ablation on moulting frequency and gonadal maturation of the argentine prawn *Artemesia longinaris* Bate. *J. Aqua. Trop.* 2: 17-24.
- Ponnuchamy, R., S. Ravichandra y K. Shakuntala. 1980. Effect of eyestalk ablation on growth and food conversion efficiency of the freshwater prawn *Macrobrachium lanchesteri* (De Man). *Hydrobiologia.* 7: 77-80.
- Primavera, J. H. y E. Borlogan. 1977. Notes on ovarian maturation of ablated (prawn) *Penaeus monodon* Fabricius. *Aquacult. Dept.* 3: 5-8.
- Radhakrishnan, E. U. y M. Vijayakumaran. 1984. Effect of eyestalk ablation in spiny lobster *Panulirus homarus* (Linnaeus): 1. On moulting and growth. *Indian. J. Fish.* 31(1): 130-147.
- Ramos, T. L. y G. E. Torras, 1986. Histología del ovario maduro del camarón rosado *Penaeus notialis* con ablación de los pedúnculos oculares. *Rev. Inv. Mar.* 7(2): 53-61
- Re, A. D. y L. F. Bückle. 1985. Crecimiento y sobrevivencia de *Procambarus clarkii* (Girard) (Crustacea, Decapoda) con diferentes temperaturas y dietas isocalóricas. *Ciencias Marinas.* 11: 39-68.
- Regnault, M.L. P. 1979. Ammonia excretion of the sand shrimp *Crangon crangon* (L) during the moult cycle. *J. Comp. Physiol.* 133: 199-204.

- Regnault, M. L. P. 1981. Respiration and excretion of the shrimp *Crangon crangon* (L): metabolic response to prolonged starvation. *J. Comp. Physiol.* 141: 549-555.
- Rosas, C; Fernandez, I; Brito, R. y I. E. Díaz. 1993. The effect of eyestalk ablation on the energy balance of the pink shrimp, *Penaeus notialis*. *Comp. Biochem. Physiol.* 104A(1): 183-187.
- Sierra, U. E. 1991. Efecto de la ablación unilateral de el pedúnculo ocular, sobre el balance energético de postlarvas y juveniles del langostino malayo *Macrobrachium rosenbergii* de Man (Crustacea:Palaemonidae). Tesis de Licenciatura. *Fac. Ciencias. U.N.A.M.* 44 pp.
- Silverthorn, S. U. 1975. Hormonal involvement in thermal acclimation in the fiddler crab *Uca pugilator* (Bosc) - 1. Effect of eyestalk extracts on whole animal respiration. *Com. Biochem. Physiol.* (50A): 281-283.
- Sindhu, S. K. y T. J. Pandian. 1987. Effects of unilateral ablation on moulting, growth, reproduction and energy budget of *Macrobrachium nobilii*. *Asian. Fisheries Science.* 1: 1-17.
- Sindhu, S. K. y T. J. Pandian. 1991. Interaction of ration and unilateral eyestalk ablation on energy budget of female *Macrobrachium nobilii*. *Asian. Fisheries Science.* 4: 227-244.
- Skinner, D. M. y D. E. Graham, 1972. Loss of limbs as a stimulus to ecdysis in brachiura (true crabs). *Biol. Bull.* 143:22-233.
- Skinner, D. M. 1985. Molting and regeneration p. 44-128. En: *The Biology of Crustacea*, vol. 9 (D. E. Bliss and L. H. Mantell Ed). Academic Press., New York. 550 pp.
- Snow, N. B. y P. J. Williams. 1971. A simple method to determine the O:N ratio of small marine animals. *J. Mar. Biol. Ass. Uk.* 50: 105-109.
- Stern, S; A. Borut, y D. Cohen, 1984. The effect of salinity and ion composition on oxygen consumption and nitrogen excretion of *Macrobrachium rosenbergii* (De Man). *Comp. Biochem. Physiol.* 79: 271-274.

- Tácon, A. G. J. 1989. Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados (manual de capacitación). F.A.O. Proyecto Aquila II GCP/RLA/102/ITA. F.A.O. Documento de campo No. 4. 572 pp.
- Talbot, C. 1985. Laboratory in fish feeding and nutritional studies, 125-154. En. Fish energetics: news perspectives (P. Tayler y P. Calow, ed). Croom Helm Publishers., London. 300 pp.
- Taylor, R. C. 1984. Thermal preference and temporal distribution in three crayfish species. *Comp. Biochem. Physiol.* 77(A): 513-517.
- Trider, D. J; E. G. Mason y J. D. Castell 1979, Survival and growth of juvenile lobsters (*Homarus americanus*) after eyestalk ablation. *J. Fish. Res. Board Can.* 36: 93-97.
- Tukey, J. W. 1977. Exploratory data analysis. Addison-Wesley Publ. Co. Mass., U.S.A. 688 pp.
- Vijayakumaran M. y E. V. Radhakrishnan, 1984. Effect of eyestalk ablation in the spiny lobster *Panulirus homarus* (Linnaeus): 2. On food intake and conversion. *Indian. J. Fish.* 31(1): 148-155.
- Villalobos, A. 1983. Crayfishes of Mexico (Crustacea:Decapoda). Amerid Publishing Co. Prot. Ltd. Nueva Delhi, India. p1-25.
- Villarreal, H. 1991. A partial energy budget for the australian crayfish *Cherax tenuimanus*. *J. World. Aquac. Soc.* 22: 252-259.
- Zar, J. H. 1984. Bioestatistical analysis. Prentice-Hall., London. 718 pp.
- Zeleny, C. 1905. Compensatory regulation. *J. Exp. Zool.* 2: 1-102.