

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA



Casa abierta al tiempo

**Bioenergética y campo de crecimiento del acocil quela roja
Cherax quadricarinatus alimentado con dietas modificadas
en su contenido de carbohidratos**

T E S I S

**que para obtener el grado de
Doctor en Ciencias Biológicas**

P r e s e n t a

Antonio Rodríguez Canto

Comité Tutorial

Directora: Dra. Sonia S. Espina Aguilera

Co-Director: Dr. José Luis Arredondo Figueroa

Asesor: Dr. Eugenio Díaz Iglesias

MAYO 2007

El Doctorado en Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma Metropolitana pertenece al Programa Nacional de Posgrados con la categoría de alto nivel de CONACyT, además cuenta con apoyo del mismo Consejo, con el Convenio PFP-20-93

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Acuicultura del CINVESTAV-Mérida y en la Planta Experimental de Producción Acuícola UAM-Iztapalapa. A los compañeros de tales Instituciones extiendo mi agradecimiento. De igual manera, le expreso mi más amplio reconocimiento a la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACyT, por la beca otorgada para mis estudios de Doctorado.

..... Que clase de pensamientos e ideas le sobrevendrían a un hombre cualquiera que anduviese buscando su propia **entidad**; quizá debiese darse cuenta que su cerebro aún está vivo, que su cuerpo aún no está reseco, que independientemente de dónde se halle ahora, es todavía el autor de su propio destino. Y puede modificarlo al asumir la decisión de cambiar, venciendo sus resistencias al miedo, aprendiendo y adoptando conductas nuevas, sin olvidar, que ningún cambio sobreviene sin trabajar firmemente y sin ensuciarse las manos. No hay fórmulas ni recetas sobre cómo realizarse, sólo sé que existo, soy, estoy aquí, hago mi vida y nadie más la hace por mí. He de enfrentarme a mis propias deficiencias, errores y transgresiones, pero mañana será otro día y he decidido abandonar mi lecho y vivir de nuevo, si fracaso, no recurriré al fácil recurso del reproche a los demás, a la vida o a D-os.

Agradecimientos

A mi *alma mater*....

La Universidad Autónoma Metropolitana, por ser una institución que permite la formación en el seno de una vida comunitaria, donde se despierta la conciencia cívica y se entienden las virtudes sociales.

Con especial reconocimiento a mi Comité Tutorial:

A la Dra. Sonia S. Espina Aguilera, cuya guía me enseñó que la formación personal requiere de conocimiento, disciplina y capacidad de darse a sí mismo, imprescindibles para llegar a la razón y a la libertad de aprender a pensar por sí mismo.

Al Dr. José Luís Arredondo Figueroa, por compartir sus conocimientos impulsando la comprensión de lo aprendido.

Al Dr. Eugenio Díaz Iglesias, por compartir sus conocimientos, experiencias y tiempo tendiendo el puente que permite el allanamiento de los retos.

Al Dr. José Miguel Betancourt Rule, por su demostración que la probabilidad de rechazar es siempre menor que el valor de aceptar.

A los Doctores Claudia Carmona-Osalde y Miguel Rodríguez-Serna, por compartir sus personalidades y aceptarme como soy.

A mí **Madre** Irma Canto por cuyo amor ha dado forma y estructura a la familia de la cuál soy parte.

INDICE

	Página
RESUMEN	viii
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	13
HIPOTESIS	17
OBJETIVOS	17
MATERIALES Y MÉTODOS	
Localidad: Mérida	18
Localidad: México	19
Preparación de las Dietas	21
Determinaciones Morfométricas	23
Tasas Fisiológicas	25
RESULTADOS	
Caracterización de las Dietas	29
Crecimiento: Indicadores de Crecimiento	31
Tasa de Crecimiento	31
Tasas Fisiológicas	
Ingestión (I)	39
Producción de heces (H)	40
Asimilación (A)	40
Eficiencia de Asimilación (Ef. A)	40
Tasa Respiratoria (R)	42
Eficiencia de Extracción de Oxígeno	43
Efecto Dinámico Específico (EDE)	43
Excreción Nitrogenada (U)	45
Eficiencias de Crecimiento Bruta, K_1 y Neta K_2	46
Muda (m)	48

	Página
Campo de Crecimiento (P)	49
Balance energético	50
DISCUSIÓN	53
CONCLUSIONES	65
LITERATURA CITADA	67

TABLAS	Página
Tabla 1. Análisis proximal de las diferentes dietas (A – D) suministradas a <i>C. quadricarinatus</i> en las localidades de Mérida, Yucatán y México, D.F.	22
Tabla 2. Caracterización de las dietas (A – D) y razones entre sus diferentes componentes lípidos:carbohidratos (L/C), proteína:carbohidratos (P/C) y proteína:energía (P/E) suministradas a <i>C. quadricarinatus</i> en Mérida, Yucatán y México, D.F.	30
Tabla 3. Indicadores de crecimiento de <i>Cherax quadricarinatus</i> en las localidades de Mérida, Yucatán y en México D.F. Peso final: valores esperados.	33
Tabla 4. Parámetros y estimadores de la regresión polinomial entre el peso húmedo (PH, g) y el tiempo (días) de <i>Cherax quadricarinatus</i> alimentado con dietas de diferente contenido de carbohidratos (A-D) en Mérida, Yucatán y México, D.F.	35
Tabla 5. Tasas de ingestión (I, mg día ⁻¹ g ⁻¹ PS), producción de heces (H, mg día ⁻¹ g ⁻¹ PS), asimilación (A, mg día ⁻¹ g ⁻¹ PS), eficiencia de asimilación (Ef. A, %) de <i>C. quadricarinatus</i> alimentado con dietas de diferente contenido de carbohidratos (A-D) en Mérida, Yucatán y México, D.F.	41
Tabla 6. Tasas de consumo de oxígeno (R, mg día ⁻¹ g ⁻¹ PS), efecto dinámico específico (EDE, mg O ₂ día ⁻¹ g ⁻¹ PS) y eficiencia de extracción de oxígeno (EEO, %).	44
Tabla 7. Eficiencias de crecimiento bruta (K ₁ , %) y neta (K ₂ , %).	47
Tabla 8. Valores calóricos de las tasas de ingestión (I), producción de heces (H), efecto dinámico específico (EDE), consumo de oxígeno (R), excreción nitrogenada (U), muda (m) y campo de crecimiento (P) de <i>C. quadricarinatus</i> alimentado con dietas de diferente contenido de carbohidratos (A-D) en Mérida, Yucatán y México, D.F. X±Sx.	51

FIGURAS	Página
Fig. 1. <i>Cherax quadricarinatus</i> . Macho.	4
Fig. 2. <i>Cherax quadricarinatus</i> . Hembra.	5
Fig. 3. Clasificación de los crustáceos en cultivo.	5
Fig. 4. Distribución del género <i>Cherax</i> .	6
Fig. 5. Diagrama del sistema experimental utilizado	20
Fig. 6. Sistema experimental utilizado en Mérida, Yucatán	20
Fig. 7. Sistema experimental utilizado en México D.F.	21
Fig. 8 Preparación de las dietas experimentales A-F.	24
Fig. 9. Recolección de muestras.	26
Fig. 10. Celda de vidrio.	28
Fig. 11. Tasas de crecimiento absoluto (TCA, g/día), crecimiento relativo (TCR, %) y crecimiento específico (TCE, %) de <i>Cherax quadricarinatus</i> mantenido con dietas de diferente contenido de carbohidratos (A-D) durante 60 días en Mérida, Yucatán y México, D.F.	34
Fig. 12. Tasa de crecimiento (g/día) de <i>C. quadricarinatus</i> mantenidos con dietas de diferente contenido de carbohidratos durante 60 días en Mérida, Yucatán y México D.F. Dietas: A, B, C, D.	36
Fig. 13. Relación entre el incremento de peso relativo al período anterior (%) y el tiempo (días) de <i>C. quadricarinatus</i> mantenido con dietas de diferente contenido de carbohidratos (A - D) en Mérida y en México durante 60 días.	38

FIGURAS	Página
Fig.14. Relación entre el incremento en peso relativo al periodo anterior (%) y el tiempo (días) de <i>Cherax quadricarinatus</i> alimentado con dietas de diferente contenido de carbohidratos (A - D) en México, D.F. durante 90 días.	39
Fig. 15. Tasas de ingestión (I), producción de heces (H) y asimilación de <i>Cherax quadricarinatus</i> , en Mérida, Yucatán y en México, D.F.	42
Fig. 16. Tasa respiratoria ($\text{mg O}_2 \text{ día}^{-1} \text{g}^{-1} \text{ PS}$) de <i>Cherax quadricarinatus</i> alimentados con diferentes dietas (A - D) durante 60 días en Mérida, Yucatán y México, D.F.	45
Fig. 17. Tasa de excreción nitrogenada ($\mu\text{g N-NH}_3 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ PH}$) de <i>Cherax quadricarinatus</i> alimentado con diferentes dietas (A-D), durante 60 días en Mérida, Yucatán y en México, D.F.	46
Fig. 18. Eficiencias de crecimiento bruta (K_1 , %) y neta (K_2 , %) de <i>Cherax quadricarinatus</i> alimentado con dietas de diferente contenido de carbohidratos (A - D), durante 60 días en Mérida, Yucatán y México, D.F.	48
Fig. 19. Valores calóricos de las mudas de <i>Cherax quadricarinatus</i> alimentado con diferentes dietas (A-D), durante 60 días en Mérida, Yucatán y en México, D.F.	49
Fig. 20. Campo de crecimiento (P , $\text{cal día}^{-1} \text{g}^{-1} \text{ PS}$) de <i>Cherax quadricarinatus</i> alimentados con diferentes dietas (A - D) durante 60 días en Mérida, Yucatán y México, D.F.	58
Fig. 21. Balance energético (%) de <i>Cherax quadricarinatus</i> alimentados con las dietas experimentales A y B en Mérida, Yucatán y México, D.F.	54
Fig. 22. Balance energético (%) de <i>Cherax quadricarinatus</i> alimentados con las dietas experimentales C y D en Mérida, Yucatán y México, D.F.	55

RESUMEN

En juveniles de *Cherax quadricarinatus* se midió el efecto de la inclusión de diferentes proporciones y tipos de carbohidratos en la dieta, sobre el crecimiento somático y el campo de crecimiento de los acociles en dos localidades, Mérida Yucatán (20.78 ± 3.65 g PH) y México, D.F. (11.63 ± 3.65 g PH). Cuatro grupos de organismos se mantuvieron durante 60 días con dietas isoprotéicas (30%) e isolipídicas (12%) con 44% de almidón (A), 44% de fibra (B), 17% almidón+27% fibra (C) y 33% almidón+11% fibra (D). El crecimiento en peso húmedo se evaluó a través de las tasas de crecimiento absoluto (TCA, g/día), relativo (TCR, %) y específico (TCE, %). La ganancia en peso fue mayor en los acociles alimentados con las dietas A y D en ambas localidades. La estimación del incremento en peso relativo al periodo anterior de 15 días por unidad de peso corporal (ΔP , %/g) evidenció que el peso inicial de los acociles influyó en los resultados. Así, tanto en Mérida como en México, las dietas que contenían sólo almidón y las mezclas con mayor proporción de almidón produjeron un mayor crecimiento en los primeros 15 días, luego éste disminuyó hasta alcanzar valores negativos en los animales de mayor tamaño (Mérida), pero no en los más pequeños (México) en los cuales se mantuvo el incremento en peso por 75-90 días. Con el fin de determinar la energía potencial de crecimiento, campo de crecimiento o producción (P) se midieron las diferentes tasas fisiológicas incluidas en la ecuación del balance energético: $P = I - (R + H + U + EDE + m)$, donde I es la energía contenida en el alimento ingerido, R es la energía utilizada en metabolismo aerobio, H , U , EDE y m se refieren a las pérdidas de energía en heces, excreción amoniacal, calor (efecto dinámico específico) y muda. Al comparar ambas localidades se observó la variable peso inicial, influyó la tasa de ingestión y la excreción amoniacal; no influyó la tasa de producción de heces, sin embargo afectó la tasa de asimilación del alimento ingerido (A) y la eficiencia de asimilación; modificó la tasa respiratoria y la eficiencia de extracción de oxígeno del disponible en el medio, pero

no tuvo una influencia significativa sobre la pérdida de calor. La dieta también influyó la tasa de ingestión entre localidades, sin embargo dentro de cada grupo sólo influyó en los acociles más pequeños de México D.F., en los cuales la tasa de ingestión fue más alta con la dieta D; la producción de heces fue dos a cinco veces mayor en los acociles más grandes de Mérida, con valores 46 y 37% más altos con las dietas B y C. La dieta no afectó la tasa de asimilación en México ni en Mérida, pero se observaron diferencias significativas entre localidades, resultados similares se obtuvieron en la eficiencia de asimilación. El contenido de carbohidratos de la dieta también modificó la tasa respiratoria entre localidades con valores más altos en México que en Mérida. Con respecto a la localidad se observaron efectos sólo en México donde los acociles alimentados con la dieta C tuvieron el consumo de oxígeno más bajo. En la tasa de excreción amoniacal también influyó el tipo de dieta con valores más altos en Mérida y en el grupo alimentado con la dieta B; en México el mayor valor se obtuvo con la dieta D. Con respecto a la muda los valores de los acociles alimentados con las dietas B y D fueron más altos en México que en Mérida y en México el menor valor se encontró con la dieta C. El campo de crecimiento (P) fue más alto en Mérida que en México y sólo en esta localidad se observó efecto de la dieta con mayores valores con la dieta D. Los resultados mencionados permitieron obtener las eficiencias de crecimiento bruta ($K_1=P/I$) y neta ($K_2=P/A$); el peso inicial de los organismos no modificó estos indicadores de producción, en cambio el efecto de la dieta fue significativo siendo mayores los valores con la dieta A en Mérida que en México. La información obtenida permite establecer que los juveniles de *Cherax quadricarinatus* tienen la capacidad de procesar el alimento con alto contenido de carbohidratos totales, almidón y fibra con ahorro de la energía proveniente de la proteína; esta capacidad es dependiente de la edad de los organismos.

INTRODUCCIÓN

La importancia ecológica y económica que tienen los crustáceos ha producido en los últimos 40 años un aumento en el conocimiento de su biología lo cual es básico para su aprovechamiento integral.

Los crustáceos son uno de los grupos zoológicos con mayor éxito biológico, tanto por el número de especies como por la diversidad de habitats que colonizan, lo que se refleja en la variabilidad de ciclos vitales y estrategias reproductivas que poseen (Sardá, 1987).

La FAO (2004) refiere en estadísticas de producción acuícola que el cultivo de crustáceos representa el 4.1% de la producción total; dicha producción se encuentra sustentada principalmente por unas cuantas especies. Cabe recordar que los crustáceos incluyen cerca de 1200 géneros y más de 10,000 especies potencialmente cultivables. Comercialmente las especies marinas de camarones de la familia Penaeidae presentan la más alta producción mundial con cerca de un 85.8%, seguidos por las especies estuarinas de langostinos de la familia Palaemonidae con un 7.4% y por último los acociles dulceacuícolas con un 6.8%, cuyos representantes pertenecen a las familias Astacidae, Cambaridae y Parastacidae; esta última sólo se encuentra en el Hemisferio Sur. Durante el periodo 2000 a 2002, México se ubicó entre los 10 productores con mayor crecimiento en su producción acuícola. Es importante resaltar que el 57.7% de la producción acuícola, en nuestro país, proviene de los cultivos en agua dulce registrando una tasa media anual del 19.9% para el periodo comprendido entre el año 2000 y 2002 (FAO, 2004).

El acocil o cangrejo de río es el crustáceo de mayor talla entre los macro-invertebrados que habitan las aguas continentales. Lo anterior aunado a una alta apreciación de su carne, ha contribuido al gran interés existente sobre este organismo desde varios puntos de vista como la gastronomía, la pesca deportiva y la acuicultura (Diéguez-

Uribeondo, 2000). En general las distintas especies de acociles viven en aguas poco profundas, en lugares con abundante vegetación ribereña la cual les proporciona refugios naturales en abundancia. Estos refugios les son indispensables para su sobrevivencia principalmente después de haber mudado.

Los acociles pueden vivir tanto en aguas limpias y frías de curso rápido con fondo rocoso así como en aguas más templadas de curso lento y fondo limoso, en climas templados y tropicales. Por su talla y longevidad se les considera miembros importantes de las comunidades macro-bentónicas dulceacuícolas de los sistemas acuáticos. En general las distintas especies presentan en promedio, tallas comprendidas en intervalos de 3 a 12 cm de longitud y de 0.2 a 100 g de peso húmedo. También existen ejemplares de algunas especies como el cangrejo de Tasmania (*Cherax gouldi*) que llega a alcanzar tallas entre los 3 y 6 kg de peso húmedo (Sokol, 1988).

Los acociles presentan importantes adaptaciones que les capacitan para resistir los cambios de humedad y temperatura ambientales en virtud de lo cual pueden colonizar exitosamente una gran variedad de habitats. En general, tienen una mayor actividad cuando la intensidad luminosa es baja, al amanecer y al atardecer. Durante estos períodos los acociles buscan pequeños animales, plantas acuáticas y restos orgánicos como alimento. Así, estos organismos desempeñan un papel importante en los procesos de transformación y flujo de energía en los ciclos de materia orgánica en los ecosistemas dulceacuícolas (Hobbs, 1991).

Aunque pueden resistir medios adversos, los acociles habitan en ambientes con condiciones térmicas fluctuantes; por lo tanto sus respuestas bioquímicas y fisiológicas pueden ser afectadas lo que a su vez repercute en la homeostasis (Dame y Vernberg, 1978; Clifford y Brick, 1979).

Los estudios ecofisiológicos de los organismos acuáticos son útiles para conocer el uso metabólico de la energía contenida en el alimento ingerido y en el mantenimiento de la homeostasis en respuesta a las variaciones ambientales (Calow, 1977; Jobling, 1994).

En los cultivos, las investigaciones con enfoque bioenergético del recurso ayudan a comprender las interacciones entre los factores ambientales y nutricionales que modulan los procesos fisiológicos relacionados con las transformaciones de energía en biomasa. Lucas (1996) define la bioenergética como la cuantificación del intercambio y transformación de la materia y de la energía entre el organismo y el ambiente. Así, en los estudios con enfoque bioenergético es necesario medir las diferentes respuestas fisiológicas integradas en la ecuación del balance energético (Klekowski y Duncan, 1975):

$$I = R + H + U + P$$

donde I es la energía contenida en el alimento ingerido; R es la energía utilizada en el metabolismo; H y U se refieren a la porción de la energía ingerida perdida en heces y productos nitrogenados excretados; P se refiere a la producción, es decir, a la energía canalizada a crecimiento somático y producción de gametos. También es posible conocer la energía perdida como calor (Jobling, 1983; Lucas, 1996) y en los crustáceos, la contenida en la muda (m). Así, P es la energía potencial de crecimiento o campo de crecimiento de los especímenes, en determinadas condiciones.

En crustáceos, se ha medido recientemente el balance energético, en *Macrobrachium rosenbergii* (Díaz-Herrera *et al.*, 1992), en el acocil *Procambarus clarkii* (Barón-Sevilla *et al.*, 1994; Gutierrez-Yurrita y Montes, 2001), en *Cherax tenuimanus* (Villarreal-Colmenares, 1991) y en *C. quadricarinatus* (Díaz *et al.*, 2006).

Por otra parte, la elaboración de una dieta significa conocer los requerimientos energéticos de los organismos en cultivo en términos de una mezcla balanceada de ingredientes que cubran dichos requerimientos, permitiendo el desarrollo de estándares de alimentación (Cho y Bureau, 2002).

En el ámbito de la acuicultura mundial el interés que se ha manifestado en el cultivo de los acociles, en los últimos años, tiene como especies centrales los representantes de la familia Astacidae, como *Astacus astacus*, *A. leptodactylus* y *Pacifastacus leniusculus*. En la familia Cambaridae el interés se ha centrado en *Procambarus clarkii*, *P. zonangulus*, *P. acutus acutus*, *P. llamasii* y *Orconectes limosus*; en cuanto a la familia Parastacidae dicho interés abarca al género *Cherax*, principalmente *Cherax albidus-destroyer* (Yabbie), *Cherax tenuimanus* (Marron) y *Cherax quadricarinatus* (Redclaw) (Figs.1, 2).



Fig. 1. *Cherax quadricarinatus*. Macho.



Fig. 2. *Cherax quadricarinatus*. Hembra.

En la figura 3 se presenta la ubicación taxonómica de las especies de crustáceos en cultivo, modificada de Lee y Wickins (1992).

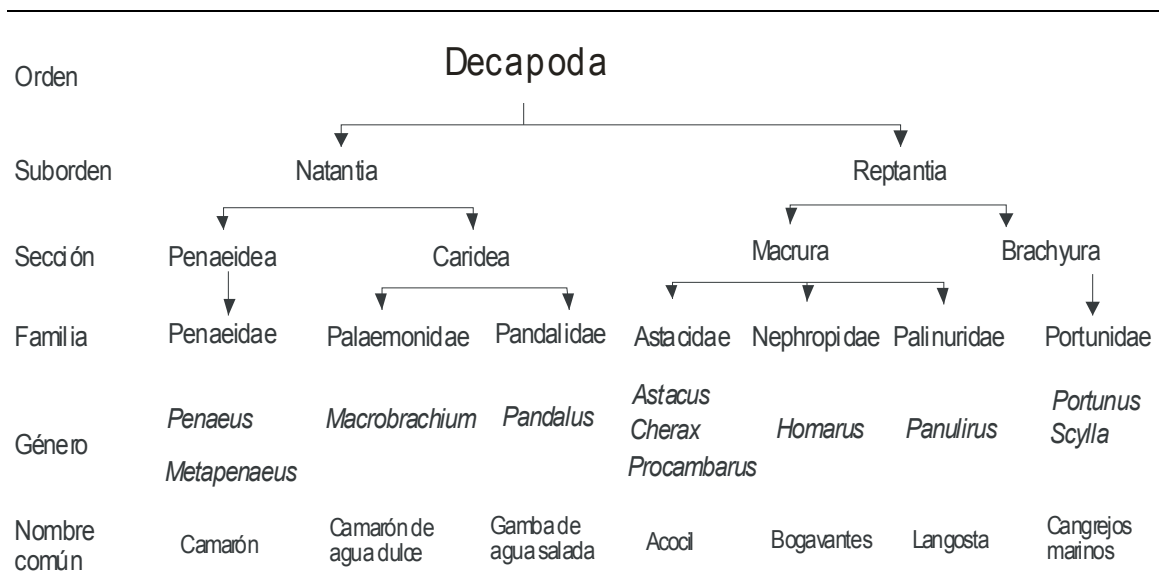


Fig. 3. Clasificación de los crustáceos en cultivo.

Con respecto a su distribución, los acociles o cangrejos de río se encuentran en todo el mundo con excepción de África; existen más de 500 especies (Hobbs, 1988).

En particular el género *Cherax* habita principalmente la región tropical del noreste australiano, abarcando el Distrito de Queensland cercano a la parte noreste del Golfo de Carpentaria y el Cabo York, en las costas del oeste del Golfo de Darwin y en el sureste de Nueva Guinea (Fig. 4). Este trabajo se centró en *Cherax quadricarinatus*, acocil de quelasrojas (redclaw), también conocido como langosta de agua dulce.

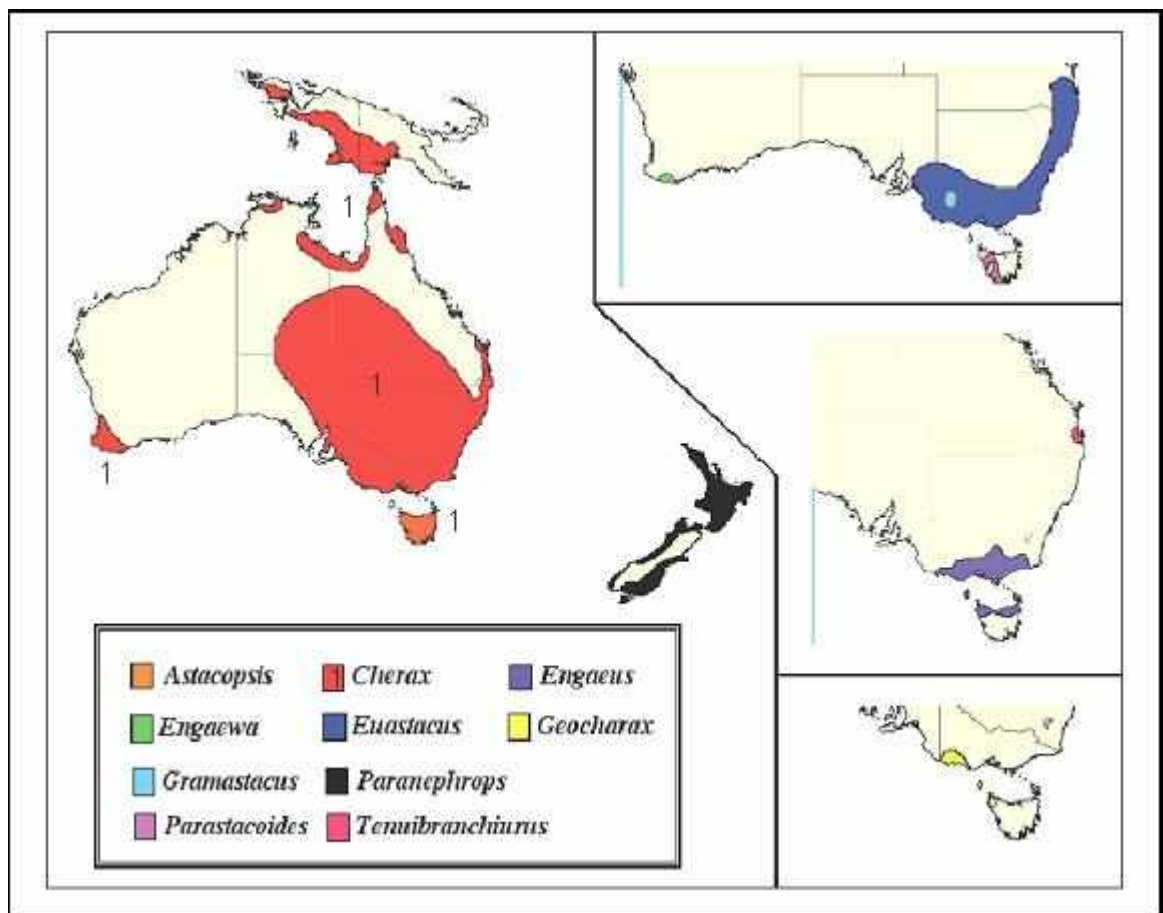


Fig. 4. Distribución del género *Cherax*.

(<http://iz.carnegiemnh.org/crayfish/index.htm>)

La ubicación taxonómica de *C. quadricarinatus*, según Hobbs (1988) se presenta a continuación:

Subphylum: Crustácea

Clase: Malacostrata

Orden: Decapoda

Infraorden: Astacidea, Latreille 1802-1803

Superfamilia: Parastacoidea, Huxley 1879

Familia: Parastacidae, Huxley 1879

Género: *Cherax*, Erichson 1846

Especie: *Cherax quadricarinatus*, von Martens 1868

El conocimiento de la biología de las especies, ha permitido delimitar el desarrollo ontogénico en períodos bien definidos que describen el ciclo de vida. Durante el transcurso del desarrollo los organismos experimentan una serie de cambios cuantitativos que, al acumularse, permiten que en el individuo se manifieste una alteración cualitativa en su modo de vida Balon (1985). En este sentido Bliss (1982) refiere que en el desarrollo de los crustáceos, existen especies cuyo desarrollo es indirecto o directo.

En las especies que presentan desarrollo directo, los organismos eclosionan en una forma similar al adulto como ocurre en *Cherax quadricarinatus*. Esta característica se considera una ventaja en comparación con otros crustáceos. Después de un periodo de entre 24 a 40 días de desarrollo embrionario, salen del huevo organismos idénticos a los adultos con una talla en promedio de 3.5 mm y 0.2 g de peso. Cabe mencionar que tanto la tasa de crecimiento como el lapso requerido para completar el desarrollo embrionario están en relación directa con la temperatura. King (1994) menciona que la temperatura óptima es cercana a los 29 °C

El cultivo de *Cherax* en agua clara muestra dos picos de máxima actividad, al atardecer y amanecer, en comparación con el cultivo en “agua verde”, con gran cantidad de fitoplancton, donde los organismos tienen actividad regular sin presentar picos máximos (Jones, 1990). La conducta de la especie durante el cultivo se considera sociable.

El cultivo del acocil en estanques rústicos presenta cierta actividad cavadora, la cual consiste en la construcción de pequeños túneles en las paredes del estanque con forma de “U”, generalmente no mayores a 20 cm de profundidad predominantemente ocupados de manera individual (observación personal).

Los juveniles se alimentan preferentemente de invertebrados acuáticos como cladóceros, copépodos y larvas de insectos y mediante mecanismos de filtración ingieren algas como las diatomeas *Chlorella spp.* entre otras. En cambio los organismos adultos se alimentan predominantemente de la vegetación y de detritos; tienen preferencia por el alimento sésil, debido a que sus movimientos de captura son lentos (Abrahamsson, 1966).

Los acociles han sido clasificados como detritívoros, herbívoros u omnívoros bentónicos ya que consumen pequeños moluscos, nemátodos e insectos además de plantas y detritus (D’Abramo y Robinson, 1989). Loya-Javellana *et al.* (1993) refieren que se agrupan entre los omnívoros bentónicos, caracterizados como fragmentadores-recolectores. Así mismo, los autores señalan que las diferencias en el comportamiento alimenticio se pueden atribuir a la variedad de habitats que ocupan y que tales diferencias cambian con el estado de desarrollo de los especímenes. Los acociles del género *Cherax* son principalmente detritívoros (Brummett y Alon, 1994; Jones, 1995b), aunque en los primeros estadios de vida libre se comportan como alimentadores oportunistas intermitentes (Loya-Javellana *et al.*, 1993; Rankin, 2000).

Estos acociles también aceptan una amplia variedad de alimentos balanceados comerciales que se utilizan regularmente en los cultivos acuícolas (Jones, 1995a, 1995c; Masser y Rouse, 1997) no obstante, destaca su predilección por los alimentos naturales en proceso de descomposición, por sobre aquellos que son frescos o peletizados.

Los estudios sobre los requerimientos nutricionales de los organismos abarcan principalmente la determinación de los porcentajes de proteína, lípidos, carbohidratos, minerales y vitaminas necesarios en el alimento. La proteína desempeña un papel preponderante debido a que es necesaria para el desarrollo del músculo y de las gónadas, es decir, para el crecimiento tanto somático como reproductivo de los organismos (Guillaume, 1997).

Para *C. quadricarinatus*, los niveles de proteína de las dietas, mencionados en la literatura a la fecha, varían considerablemente en función de factores tales como la talla de los organismos y del tipo de sistemas de cultivo así como la calidad de los ingredientes utilizados en la elaboración del alimento; en general son similares a los recomendados para otros crustáceos como *Procambarus clarkii*, *Macrobrachium rosenbergii* y *Penaeus aztecus*, con niveles de 25 a 35% (Guillaume, 1997; D'Abramo y New, 2000).

El conocimiento que se tiene sobre los requerimientos de lípidos en los crustáceos es escaso. También se desconoce en gran medida la función que desempeñan en la nutrición; en general, los lípidos forman parte importante del metabolismo asociado a los procesos de maduración gonádica, fecundidad y producción de huevos (D'Abramo y Robinson, 1989).

La utilización de los lípidos en cada especie, depende del nivel de energía disponible en la dieta, así como de la composición de ácidos grasos esenciales presentes en las fuentes utilizadas para la elaboración del alimento. Villarreal y Peláez (1999) citan que en el mantenimiento de *C. quadricarinatus* la incorporación de 4 a 6% de lípidos cubren satisfactoriamente los requerimientos de la especie. No obstante, de manera general se considera que los alimentos comerciales para crustáceos deben contener entre 8 y 12% de lípidos (Hernández-Vergara *et al.*, 2003).

En lo que se refiere al colesterol, se considera básico para la síntesis de varios esteroides y debido a que dicho compuesto no puede ser sintetizado por el organismo se debe incluir en la dieta, aunque en concentraciones no mayores del 0.5% (Kondos, 1990; Hernández-Vergara *et al.*, 2003).

Guillaume (1997) también enfatiza que la dieta de los crustáceos debe contener minerales y vitaminas. Los minerales son esenciales y se presentan niveles apreciables en los tejidos como el calcio, el fósforo y el magnesio. Así, se recomienda la inclusión de compuestos solubles en la elaboración del alimento principalmente FeCl_3 , CuSO_4 , CaCO_3 , MgSO_4 , ZnSO_4 , CaCl_2 , entre otros, como premezcla de minerales.

Las vitaminas están relacionadas con el metabolismo de muchos de los minerales, por lo que se deben incorporar en la dieta en un nivel mínimo de 1.0% (Kondos, 1990).

También es necesario mencionar la necesidad de carotenoides de estos organismos. La función de estos compuestos es contribuir a su coloración. Se conoce que la astaxantina y la harina de alfalfa actúan como precursores de los pigmentos por lo que se recomienda su inclusión en el alimento suministrado a los acociles (Kondos, 1990; Harpaz *et al.*, 1998).

En lo que respecta al contenido de carbohidratos como ingrediente de las dietas, en este trabajo se utilizaron los compuestos de tipo hidromisible como el almidón y no-hidromisible como la fibra. De manera general se conoce que los primeros proporcionan energía, mientras que los segundos favorecen principalmente los movimientos peristálticos del tubo digestivo. Los carbohidratos están presentes en forma de polisacáridos como la celulosa, la quitina, el almidón y el glucógeno. Los primeros compuestos desempeñan un papel importante en la constitución del exoesqueleto en tanto que el almidón y el glucógeno

son los principales productos de reserva de energía.

Tanto el almidón como el glucógeno son compuestos homopolisacáridos, constituídos solamente por glucosa; difieren en la naturaleza de sus enlaces, en el glucógeno son del tipo alfa (α -1,4) y en el almidón son del tipo beta (β -1,4). Estas estructuras les confieren propiedades físicas y químicas diferentes lo que se traduce en que ambos compuestos son digeridos y absorbidos por los organismos de diferente manera. La quitina difiere en su composición de la celulosa, del almidón y del glucógeno ya que está compuesta por un aminoazúcar, la N-acetilglucosamina que contiene nitrógeno además de carbono, hidrógeno y oxígeno (Phillips *et al.*, 1966).

Todos los polisacáridos son solubles en agua caliente y al enfriarse pasan al estado de gel. Esta propiedad ha sido ampliamente explotada por las industrias de productos textiles, de cosméticos, farmacéuticos y de alimentos. En acuicultura se utilizan en la fabricación de alimentos húmedos como quelantes, en la elaboración de alimentos secos y como sustratos energéticos de bajo costo, entre los cuales es frecuente el uso de almidón y de celulosa (Shiau y Peng, 1992; Peres y Oliva-Teles, 2002).

Jobling (1994) señala que en el intestino de los peces, la digestión de la celulosa es producto de la actividad de la microflora presente, debido a que al carecer de la enzima celulasa, no tienen la capacidad de hidrolizarla; en cambio, tienen la capacidad de degradar el almidón ya que producen y secretan amilasa. El proceso de degradación depende de la especie y del estado en que se encuentre el compuesto. Por ejemplo, si éste está gelatinizado, es 20 a 25% más asimilable por los salmónidos. Los crustáceos en cambio, poseen sistemas enzimáticos que les permite degradar la celulosa.

Al respecto, Capuzzo (1983) menciona que las larvas de langosta

asimilan el almidón del trigo y del maíz entre 13.8 y 14.5%; en penaeidos, el almidón y la dextrina también son asimilados y tienen un alto valor nutritivo (Kanazawa, 1984).

En referencia a la presencia de la enzima celulasa, Xue *et al.* (1999) demostraron concluyentemente que el acocil quela roja posee hidrolasas polisacáridas capaces de degradar la celulosa y los substratos relacionados; también mencionan que la administración de antibióticos redujo en un 94% el número de bacterias existentes en el contenido gástrico del acocil *Cherax quadricarinatus*, sin embargo, la actividad celulásica disminuyó sólo en un 40% y en la glándula digestiva no se observó ningún efecto. Tales resultados fueron obtenidos a pH 4-5 y a 18-30 °C.

En algunas de las especies de crustáceos, utilizadas en cultivos comerciales, se ha determinado la capacidad de metabolizar la celulosa, como ejemplo en *Macrobrachium rosenbergii* (Noborikawa, 1978; Lee *et al.*, 1980; D' Abramo y Sheen, 1994), en *Carcinus maenas* y *Crangon crangon* (Kristensen, 1972), en *Gammarus spp* (Chamier, 1991), en *Chionoecetes opilio* (Brethes *et al.*, 1994), en acociles *Cherax destructor*, *Procambarus clarkii* (Brown, 1995).

Por otra parte, se ha observado que el acocil quela roja cambia de dieta a medida que crece. Con base en estas observaciones Figueiredo y Anderson (2003) realizaron estudios con el propósito de asociar las variaciones ontogenéticas de las enzimas del acocil con las preferencias alimenticias. En animales pequeños encontraron mayor cantidad de proteasas que de carbohidrasas y los niveles de éstas aumentaron paralelamente a la preferencia en la dieta por los vegetales observada en los animales grandes. D'Abramo (2002) enfatiza que el éxito de una dieta manufacturada depende de la comprensión que se tenga sobre la fisiología nutricional de una especie y de los cambios ontogenéticos que experimente su sistema digestivo, lo cual se relaciona íntimamente con

las preferencias alimenticias. En acuicultura, dicho conocimiento permite adecuar las diferentes fuentes de nutrimentos y sus niveles en la preparación de dietas en tanto, los estudios ecofisiológicos con enfoque bioenergético, facultan la evaluación del éxito obtenido.

Son pocos los ingredientes alimenticios potencialmente útiles que pueden ser suministrados como único componente de una dieta, por esta razón comúnmente se utilizan en su preparación mezclas balanceadas.

La evaluación de la digestibilidad de las dietas, o de los diferentes ingredientes por separado, se basa en la cuantificación de las heces producidas. La cantidad de heces puede variar ya sea por la calidad del ingrediente o ingredientes mezclados, por la disponibilidad de los mismos al término de la elaboración de la dieta, o por la carencia de las enzimas gástricas necesarias para la digestión de los mismos (Guillaume *et al.*, 2004).

Varios autores mencionan que el crecimiento óptimo del organismo no sólo está supeditado al contenido adecuado de proteína en la dieta, sino que también es dependiente de las proporciones de los otros componentes así como de la especie y de su estado de desarrollo. Se ha comprobado que si las fuentes de los nutrimentos no protéicos son escasas, parte del contenido de proteínas se utiliza en la obtención de energía; de aquí se desprende la importancia de la inclusión de carbohidratos en la dieta, principalmente debido al efecto ahorrador que ejercen sobre las proteínas (Capuzzo, 1983; Verhoef y Austin, 1998).

ANTECEDENTES

En *Cherax quadricarinatus* los estudios realizados en cuanto a los requerimientos nutricionales, al igual que para otras especies de interés comercial, son sólo parciales aunque su explotación se ha desarrollado en forma acelerada en los últimos años (Meade y Watts, 1995).

Durante los primeros intentos por cultivar la especie, se utilizaron una gran variedad de productos y subproductos agrícolas como papa, zanahoria y granos de maíz; además, alimentos balanceados para aves de corral, peces, camarón y langostino. Todos estos alimentos han dado resultados aceptables en cuanto a ganancia de peso y sobrevivencia (SEPESCA, 1994; Jones, 1995a, 1995b; Boyd *et al.*, 1996) lo cual puso en evidencia el potencial acuícola de la especie, así como su adaptabilidad a sistemas de cultivo rústico y semi-intensivo. Sin embargo para Yeh y Rouse (1994) es necesario llegar a obtener una dieta nutricional completa que cubra satisfactoriamente los requerimientos de la especie, lo que permitiría mejorar la rentabilidad de los cultivos.

Se menciona en la literatura que la mayoría de los crustáceos, tanto marinos como dulceacuícolas, presentan una marcada preferencia por la proteína de origen animal en sus primeros estadios de vida. Dicha preferencia cambia a proteína de origen vegetal a medida que los organismos crecen y puede ser modificada por factores biológicos y ambientales (Huner *et al.*, 1985; Horton y Hobbs, 1988).

En el caso específico del requerimiento protéico los estudios concuerdan que niveles entre 30 y 50% son adecuados (Webster *et al.*, 1994); dichos valores pueden variar si se considera la productividad natural de los estanques y sistemas de cultivo (Maquire y Hume, 1982).

La información obtenida sobre el requerimiento de lípidos de los crustáceos es menor que el de las proteínas. De manera general, se ha encontrado que entre 4 y 8% es adecuado en el cultivo (Davis y Robinson, 1986; D'Abramo y Lovell, 1991; Villarreal y Peláez, 1999).

Hernández-Vergara *et al.* (2003) evaluaron la influencia de los lípidos sobre el crecimiento de *Cherax quadricarinatus* alimentados con raciones que contenían tres niveles de lípidos, 4.2, 8.2 y 12.3%; los

autores establecen que las diferencias observadas no fueron significativas.

D'Abramo y New (2000) señalan que en la elaboración de las dietas suministradas al langostino *Macrobrachium rosenbergii* no se mantienen niveles fijos de lípidos y que esto depende de la composición de ácidos grasos y de la fuente energética de tal manera que la adición de al menos un 2% de lípidos cubre las necesidades de la especie. Al respecto New (1987) enfatiza que dicho porcentaje de lípidos sería adecuado si los carbohidratos presentes en la composición de la dieta fueran utilizados como fuente de energía.

Por otra parte D'Abramo y Sheen (1994) encontraron que raciones con un 10% de lípidos no tuvieron un efecto directo sobre el crecimiento de *Macrobrachium rosenbergii* en cambio otros autores citan que el porcentaje adecuado es inferior al 8% (Colvin, 1976; Deshimaru *et al.*, 1979; Bautista, 1986; Dall *et al.*, 1990; Dall, 1992).

La inclusión de carbohidratos en las dietas para el cultivo de las diferentes especies de acociles constituye una estrategia común para la reducción de los costos ya que son una fuente económica de energía (González-Peña *et al.*, 2002; Webster y Lim, 2002). Ahora bien, si la cantidad de carbohidratos es suficiente para las cubrir demandas energéticas inmediatas del organismo, se estimula el efecto ahorrador de las proteínas (Kanazawa, 1984; New, 1990).

En lo que atañe a la celulosa, es necesario tener en cuenta que aunque puede contribuir al eficiente uso de las proteínas contenidas en el alimento, también puede provocar efectos negativos sobre la absorción y el metabolismo de los nutrimentos. Esto se debería probablemente a que su estructura actuaría como una barrera física en el intestino imposibilitando la actividad enzimática sobre los nutrientes como los lípidos, las proteínas o los carbohidratos (Hart *et al.*, 1995;

Potty, 1996).

Al respecto, González-Peña *et al.* (2002) mencionan que si bien *M. rosenbergii* puede digerir y absorber la celulosa, sugiriendo de esta manera su uso como una fuente potencial de energía metabolizable, establecen que niveles sobre el 10% tienen un efecto negativo sobre el coeficiente de digestibilidad aparente de la proteína.

Shiau y Peng (1992) evaluaron la combinación de glucosa, dextrina y almidón con diferentes niveles de proteína (40, 35 y 30%) en la alimentación de *P. monodon* y concluyeron que parte de la proteína era catabolizada como fuente de energía, dependiendo del contenido y tipo de carbohidrato presente. También encontraron que el almidón fue el carbohidrato con mayor utilización y con mejor efecto ahorrador de las proteínas, en comparación con la glucosa y la dextrina.

Shiau *et al.* (1991) estudiaron la ganancia en peso, la razón de conversión de alimento y la eficiencia proteica de *Penaeus monodon* alimentado con dietas cuyo contenido de carbohidratos (35%) provenía de diferentes fuentes: cuatro calidades de harina de trigo (natural, refinada en primer, segundo y tercer grado) y almidón de maíz. Refieren que la ganancia en peso del camarón fue 33% mayor cuando se alimentó con harina de trigo natural en comparación con el almidón de maíz. Los autores consideran a los carbohidratos como la principal fuente de energía del alimento, aunque sugieren tomar en cuenta el nivel de incorporación con el fin de encontrar los límites para cada especie y tipo de cultivo.

En las tilapias (*Oreochromis niloticus* y *O. aureus*) se menciona que la ganancia en peso fue significativamente menor cuando se les alimentaba con dietas que contenían fibra; en cambio, la tasa de crecimiento aumentó cuando se les proporcionó dietas que contenían dextrina o glucosa (Anderson *et al.*, 1984).

García-Guerrero *et al.* (2003) establecieron la influencia de la temperatura sobre la composición bioquímica del vitelo durante el desarrollo embrionario de *C. quadricarinatus*. Sus resultados indicaron que la duración y la sobrevivencia disminuyeron al aumentar la temperatura; así mismo, encontraron que las tasas de consumo de proteínas, lípidos y carbohidratos fueron dependientes de la temperatura.

Tomando en cuenta los antecedentes descritos y debido al interés creciente que en nuestro país ha generado el cultivo de *Cherax quadricarinatus* y que la información existente sobre sus requerimientos nutricionales es escasa, el propósito del presente estudio fue investigar el efecto que diferentes tipos de carbohidratos y sus combinaciones tendrían sobre el crecimiento de la especie.

Hipótesis

Se supuso que modificando la proporción de los carbohidratos en una dieta isoprotéica e isolipídica se obtendrá un efecto estimulador del crecimiento del acocil quela roja.

Objetivo General

Determinar el crecimiento y la energía potencial de crecimiento de *Cherax quadricarinatus* alimentado con cuatro dietas isoprotéicas (30%) e isolipídicas (12%) que difieren en los niveles de inclusión y tipo de carbohidratos (almidón y celulosa), cultivados en diferentes localidades geográficas: Mérida, Yucatán y México, D.F.

Objetivos Particulares

- Evaluar la tasa de crecimiento en peso de los especímenes a través de diferentes indicadores: tasa de crecimiento absoluto, relativo y específico.

- Medir las diferentes respuestas fisiológicas que se integran en el

balance energético de los acociles con el fin de determinar la energía potencial de crecimiento o campo de crecimiento de cada grupo experimental.

- Establecer comparaciones entre los grupos experimentales de ambas localidades de cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en dos localidades: Mérida, Yucatán y en México, D.F., que difieren tanto en la temperatura ambiental como en la dureza del agua. Los ejemplares de *Cherax quadricarinatus* empleados, se obtuvieron de los cultivos mantenidos en dichos lugares.

Localidad: Mérida

Se seleccionaron cuatro grupos de juveniles de *C. quadricarinatus* en estado de intermuda; el intervalo de peso fue de 14.74 a 29.66 g con un promedio de peso húmedo (PH, g) de 20.8 ± 3.7 g. Cada grupo estuvo constituido por ocho organismos hembras y machos que se colocaron en cámaras separadas y se alimentaron diariamente con dietas que diferían en su contenido de carbohidratos. Estas dietas se proporcionaron a razón del 3% del peso corporal de los especímenes durante 60 días.

En el trabajo experimental se empleó el dispositivo que se ilustra en las figuras 5 y 6. El sistema fue de tipo cerrado con recirculación de agua entre los tres niveles: el estanque distribuidor, las cámaras experimentales y los biofiltros como se indica en la figura 5. Cabe destacar que este sistema se instrumentó en un cuarto con aire acondicionado.

En el sistema el agua era bombeada desde el nivel de los biofiltros, hasta el nivel superior mediante una motobomba de ¼ HP desde el cual se distribuía hasta el fondo de cada una de las 36 cáma-

ras manteniendo un flujo de 1 L / min. Las cámaras tenían un volumen útil de 17 L. Las características fisicoquímicas del agua fueron las siguientes: la temperatura de 28 ± 0.5 °C fue mantenida con calentadores de titanio conectados a un selector de temperatura y se midió con termómetros de mercurio; el pH de 8.21 ± 0.043 unidades se midió con un potenciómetro (Beckman ± 0.01); la dureza (354.44 ± 13.23 mg CaCO_3 / L) y la alcalinidad (330 ± 17.01 mg CaCO_3 / L) se determinaron mediante las técnicas propuestas en APHA (1989).

Durante el periodo de mantenimiento, tanto en los estanques de cultivo como durante los siete días que permanecieron los acociles en el sistema, para su acondicionamiento, se les suministró alimento comercial para camarón con 25% de proteína cruda (Purina ®). El fotoperíodo fue de 12h de luz.

Localidad: México, D. F.,

Los juveniles de *Cherax quadricarinatus* se obtuvieron en la Planta Experimental de Producción Acuícola de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. El intervalo de peso de los acociles, en intermuda fue de 6.4 a 15.8 g con un promedio de 11.63 ± 2.02 g PH. Se colocaron y alimentaron diariamente al 3% de su peso corporal, con camaronina (Purina ®) de manera similar a los del sitio anterior.

Durante la fase experimental 36 organismos -hembras y machos- se distribuyeron al azar en cuatro grupos de nueve acociles cada uno los que se alimentaron con las mismas cuatro dietas de diferente contenido de carbohidratos durante 90 días.

El sistema experimental que se presenta en la figura 7 fue semejante al empleado en Mérida, Yucatán (Fig. 6) y se instaló en un cuarto con temperatura controlada ($27 \pm 1^\circ\text{C}$) considerando el fotoperíodo natural. Las características fisicoquímicas del agua fueron

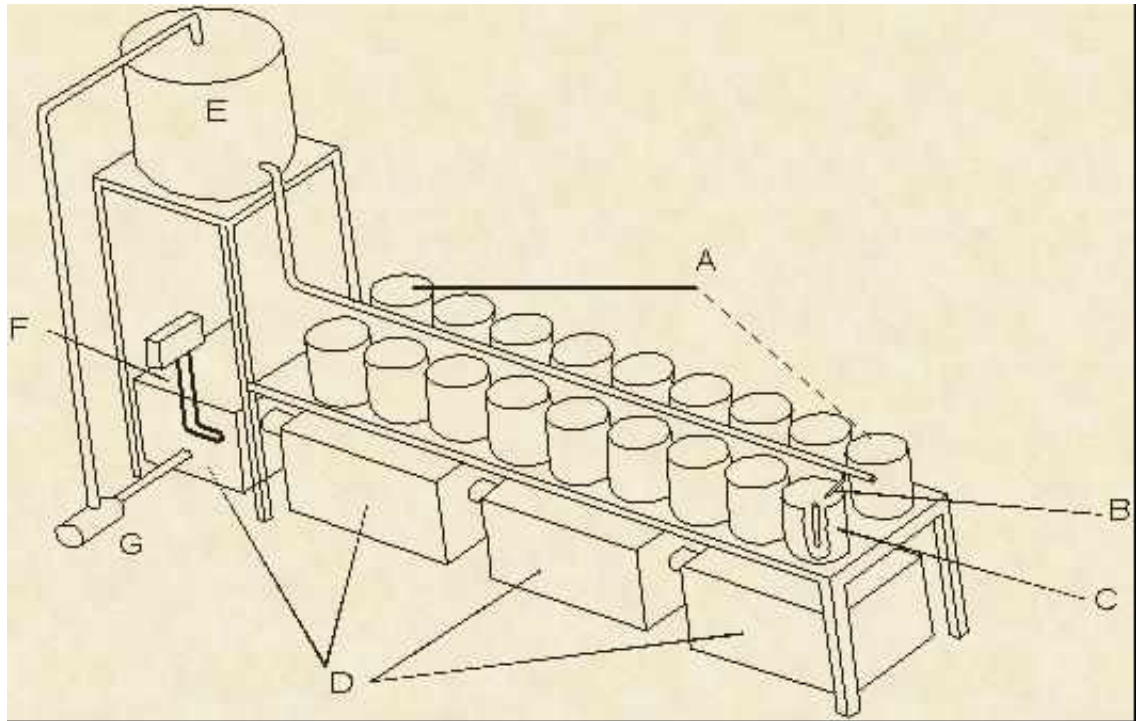


Fig.5. Diagrama del sistema experimental utilizado. A-cámaras experimentales B- tubo alimentador; C- tubo vertedero; D- biofiltros; E- estanque distribuidor; F- termostato; G- bomba de agua.



Fig.6. Sistema experimental utilizado en Mérida, Yucatán.

las siguientes: 27 ± 0.7 °C de temperatura, mantenida con calentadores de titanio conectados a un selector de temperatura, el registro se llevó a cabo mediante un tele-termómetro (YSI 44TD ± 0.1 °C); el pH de 8.85 ± 0.05 unidades (potenciómetro, Beckman $\Phi 50 \pm 0.01$); la dureza y la alcalinidad fueron de 159.95 ± 15.79 y 229.57 ± 47.81 mg CaCO₃/L, respectivamente. Estos parámetros se determinaron en un equipo HACH por la técnica de titulación (APHA, 1989).



Fig.7. Sistema experimental utilizado en México D.F.

Preparación de las Dietas

Las dietas se prepararon con 12% de lípidos, provenientes de fuentes tanto animal como vegetal y 30% de proteínas de harina de pescado.

Así mismo, se les adicionaron minerales y vitaminas acorde a Laboratorios Roche. Se utilizó una formulación porcentual mediante un programa de cálculo (Olvera, 1994). Posteriormente a la elaboración, se efectuó el análisis proximal. La composición final de las dietas experi-

mentales (A-D) suministradas a los diferentes grupos de acociles, se presenta en la Tabla 1 y las razones entre los diferentes ingredientes de las dietas de ambas localidades se muestran en la Tabla 2. Con el fin de determinar si las diferencias entre dichas razones eran significativas, se empleó al análisis de X^2 utilizando previamente la transformación angular de los datos (Zar, 1999).

Tabla 1. Análisis proximal de las dietas (A – D) suministradas a *C. quadricarinatus* en las localidades de Mérida, Yucatán y México, D.F.

Componentes	A	B	C	D
<u>Mérida, Yucatán</u>				
Humedad, %	5.36	5.42	5.93	5.79
Almidón, %	43.67	0.02	16.48	32.81
Alfa-celulosa	0.03	44.02	26.87	10.71
Proteínas, %	30.10	29.83	29.85	29.98
Lípidos, %	12.02	11.98	12.05	12.10
Cenizas, %	9.21	9.17	8.99	8.81
Energía, cal/g	4400	4478	4456	4461
<u>México, D.F.</u>				
Humedad, %	4.53	4.12	4.58	4.69
Almidón, %	44.02	0.04	17.10	33.61
Alfa-celulosa	0.06	44.12	27.21	10.67
Proteínas, %	30.02	29.88	30.01	30.00
Lípidos, %	12.01	12.04	12.00	12.08
Cenizas, %	9.33	9.82	9.34	9.02
Energía, cal/g	4532	4715	4594	4588

La elaboración de las mezclas se muestra en la figura 8 A-F, se empleó una batidora y molino (Kitchen Aid) con salida de ¼. El almidón se adicionó previamente cocido en agua. La pasta, en cilindros, se secó en una estufa (Riossa HSCF-402 ± 0.1 °C) a 25 °C durante 24 h.

Determinaciones Morfométricas

Para determinar el crecimiento del acocil quela roja en las diferentes condiciones experimentales -localidad y tipo de dieta- se midió el peso corporal en una balanza de plato (OHAUS ± 0.01g). Las mediciones se efectuaron cada 15 días. Con los datos de peso húmedo se calcularon los estimadores de crecimiento: tasas de crecimiento absoluto (TCA, mg día⁻¹), crecimiento relativo (TCR,%) y crecimiento específico (TCE,%).

$$TCA = (P_f - P_i) / t$$

$$TCR = [(P_f - P_i) / P_i] 100$$

$$TCE = [(Ln P_f - Ln P_i) / t] 100$$

donde P_f y P_i son los pesos finales e iniciales, respectivamente; t es el tiempo (días) y Ln es el logaritmo natural.

Las relaciones entre el peso (g) de los acociles y el tiempo transcurrido (días) se establecieron a través del modelo polinomial de segundo grado:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2$$

donde Y es el peso final (PH_f, g), X es el tiempo (días), $\beta_0 - \beta_2$ son los coeficientes de regresión (Zar, 1999). Como estimadores del ajuste de los diferentes modelos se emplearon la desviación estándar (S) y el coeficiente de determinación (R²).



Fig.8 Preparación de las dietas experimentales suministradas a *Cherax quadricarinatus*, A-F.

Tasas Fisiológicas

La tasa de ingestión (I , $\text{mg h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{PS}$) se calculó por diferencia entre el alimento suministrado y el alimento remanente extraído de las cámaras experimentales. El alimento suministrado permaneció durante dos horas en cada cámara; al finalizar dicho lapso se retiró el sobrante mediante sifón, recolectándolo en una botella de plástico de 0.5 L en cuyo extremo se colocó una malla de $140 \mu\text{m}$ (Fig. 9).

La tasa de producción de heces (H , $\text{mg h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{PS}$) se midió recolectándolas después de las 24 h y previamente al suministro del alimento. La recolección se hizo utilizando el mismo procedimiento descrito anteriormente. Tanto el alimento como las heces se secaron hasta peso constante en una estufa (Riossa, HSCF- 402) mantenida a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ tanto en la localidad de Mérida, Yuc como en México, D. F.

La tasa de asimilación (A , $\text{mg día}^{-1} \text{g}^{-1} \text{PS}$) se calculó por diferencia entre los valores de las tasas de ingestión (I) y de producción de heces (H).

Estos procedimientos se llevaron a cabo durante 60 días en Mérida y 90 días en México D.F. Posteriormente se determinó el contenido calórico del alimento suministrado, del alimento remanente en las cámaras experimentales y de las heces en un calorímetro (IKA Duo-C5003), los valores se expresaron en $\text{cal día}^{-1} \text{g}^{-1} \text{PS}$.

En la determinación de la tasa de consumo de oxígeno (R , $\text{mg O}_2 \text{h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{PS}$) se utilizó una cámara respirométrica de 2 L, consistente en una bolsa de plástico con cierre hermético, en la cual se insertó una manguera de 3 mm de diámetro.

Los acociles, en ayuno por 24 h, se colocaron individualmente en cada cámara dentro de un tubo de PVC. Esto se hizo con el fin de no perturbar al animal al extraer las muestras del agua. En tales respiróme-



Fig. 9. Recolección de muestras de alimento remanente y heces.

Después de que los acociles permanecieron 30 min antes de efectuar la toma de muestras, con objeto de atenuar el estrés provocado por la manipulación. En seguida, se obtuvo la primera muestra de agua (M_1) presionando la cámara de plástico y una segunda muestra (M_2) después de 30 min de incubación.

En las muestras M_1 y M_2 se midieron los niveles de oxígeno utilizando un oxímetro ($YSI-55 \pm 0.05 \text{ mg O}_2/\text{L}$) cuyo sensor se introdujo en una celda de vidrio con un tubo de entrada en la parte inferior y una de salida en la parte superior (Fig. 10). La medición se efectuó al permitir que el agua de la cámara fluyera a través de la celda de vidrio, cuidando que no hubiese burbujas en su interior (Bückle, L.F. en Barón-Sevilla *et al.*, 1994). El agua de salida de la celda de vidrio se recolectó en botellas de plástico, a medida que se efectuaban las mediciones de

oxígeno, con el fin de determinar la concentración de amonio de estas muestras. El procedimiento se llevó a cabo por duplicado en cada organismo. La tasa de consumo de oxígeno (R), se calculó por diferencia entre los niveles de oxígeno de las muestras inicial y final:

$$R = (M_1 - M_2) / t$$

donde t es el tiempo (h). Posteriormente, los datos ($\text{mg O}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ PS}$) se expresaron en valores calóricos ($\text{cal día}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ PS}$) utilizando el equivalente de 3.40 cal/mg O_2 (Brody, 1945).

El efecto dinámico específico (EDE) se calculó por diferencia entre la tasa respiratoria de los acociles recién alimentados y en ayunas durante 48 h y se expresó en $\text{mg O}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ PS}$. Los valores de dichas tasas se convirtieron en calorías ($\text{cal día}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ PS}$) como se mencionó anteriormente.

La cantidad de amonio excretado se determinó en las mismas muestras de agua en las que se midió el consumo de oxígeno de los acociles. El contenido de amonio de dichas muestras se midió mediante la técnica colorimétrica de Nessler (APHA, 1989) empleando un espectrofotómetro (Beckman DU-640 ± 0.0001). La tasa de excreción (U, $\text{mg N-NH}_3 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ PS}$) se obtuvo por diferencia entre el contenido amoniacal de las muestras finales (M_2) e iniciales (M_1) por día:

$$U = (M_2 - M_1) / t$$

El valor calórico se obtuvo utilizando el equivalente nitrocalórico 5.94 cal/mg N-NH_3 (Elliott y Davison, 1975) y se expresó en $\text{cal día}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ PS}$.

La energía perdida a través de la muda se midió recolectando las exuvias producidas por cada organismo de cada grupo durante el lapso

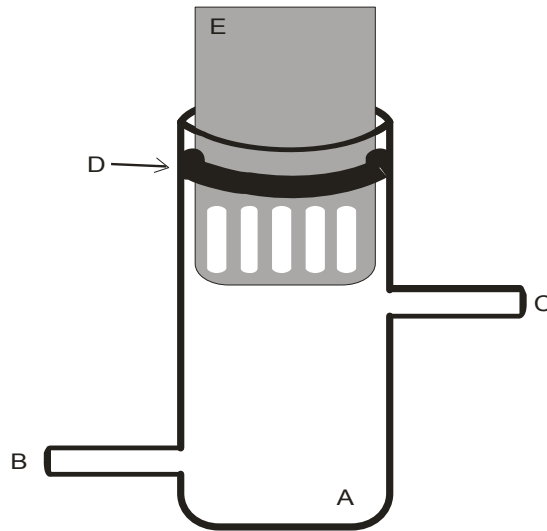


Fig. 10. Celda de vidrio (A); tubo de entrada (B) tubo de salida (C); empaque (D); sensor de oxígeno del oxímetro (E). (Bückle, 1994)

experimental en ambas localidades y se midió el peso húmedo (Balanza de plato OHAUS ± 0.01 g). Posteriormente se obtuvo el peso seco de los exoesqueletos de cada acocil en una estufa (Riossa HSCF-402 ± 0.1 °C). El valor calórico de las mudas se obtuvo en una bomba calorimétrica (IKA Duo C5003) y se expresó en calorías por día⁻¹ g⁻¹ PS.

La energía potencial de crecimiento o campo de crecimiento (P, cal día⁻¹ g⁻¹ PS) se calculó por diferencia entre la energía contenida en el alimento ingerido (I) y la utilizada en procesos metabólicos (R), la pérdida por efecto calorigénico (EDE), vía heces (H) y excreción nitrogenada (U) (Klekowsky y Duncan, 1975):

$$P = I - (R + H + U + EDE)$$

En esta ecuación se incluyó el valor calórico de la muda (m) acorde a Logan y Epifanio (1978).

Las eficiencias energéticas: eficiencia de asimilación (Ef.A, %), eficiencia de crecimiento bruta (K_1 , %) y eficiencia de crecimiento neta (K_2 , %) se calcularon de la siguiente manera:

$$\text{Ef. A} = [(I-H) / I] 100$$

$$K_1 = (P/I) 100$$

$$K_2 = (P/A) 100$$

donde: A representa la tasa de asimilación, I es la tasa de ingestión y P es la producción, energía potencial de crecimiento o campo de crecimiento.

Con objeto de identificar las diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los promedios de los valores, calculados, se utilizaron las pruebas paramétricas de análisis de varianza (ANDEVA) y covarianza (ANCOVA), las pruebas de comparación múltiple de Duncan y Student Newman Keuls, dependiendo de la distribución de los datos (Zar, 1999). En el análisis estadístico se emplearon los programas de cómputo STATGRAPHICS V 2.1, (1994-1996; Statistical Graphics Corp.), ORIGIN V 4.0, (MICROCAL TM Software Inc, 1995) y NCSS (Hintze, 2001. Kaysville, Utha).

RESULTADOS

La sobrevivencia de los organismos de *Cherax quadricarinatus* utilizados durante el presente estudio fue diferente para cada localidad. En Mérida, Yucatán se obtuvo el 100% para todos los grupos; en México, D.F., en cambio, en los especímenes que recibieron la dieta A fue del 100%, en los que se alimentaron con la dieta B fue del 70% y en los mantenidos con las dietas C y D se tuvo una sobrevivencia del 90%.

Dietas

La composición de las diferentes dietas suministradas a los acociles

C. quadricarinatus en ambas localidades se presentan en la Tabla 1 (pp. 22). Así mismo, se calcularon las razones de los componentes de las dietas experimentales con el fin de conocer de qué manera influyeron en el crecimiento y en el campo de crecimiento de los organismos: Lípidos:Carbohidratos (L/C), Proteínas:Carbohidratos (P/C) y Proteína:Energía (P/E).

Tabla 2. Caracterización de las diferentes dietas (A-D) y razones entre sus componentes: lípidos:carbohidratos (L/C), proteína:carbohidratos (P/C) y proteína:energía (P/E) suministradas a *Cherax quadricarinatus* en Mérida, Yucatán y México, D.F.

Dietas	Componentes	L/C	P/C	P/E
<u>Mérida, Yucatán</u>				
A	Almidón	0.27	0.69	0.68
B	Fibra	0.27	0.69	0.67
C	Mezcla			
	(16.52% almidón + 27.27% fibra)	0.27	0.69	0.67
D	Mezcla			
	(33.04% almidón +10.75% fibra)	0.27	0.69	0.67
<u>México, D.F.</u>				
A	Almidón	0.27	0.69	0.66
B	Fibra	0.27	0.69	0.64
C	Mezcla			
	(16.52% almidón + 27.27% fibra)	0.27	0.69	0.65
D	Mezcla			
	(33.04% almidón +10.75% fibra)	0.27	0.69	0.65

En el cálculo de las diferentes razones se consideraron tanto el contenido de almidón o de fibra de las dietas A y B como las mezclas de

estos diferentes tipos de carbohidratos en las dietas C y D. Los resultados indican que no hubo diferencias significativas entre estas razones ($P > 0.05$) ni en el contenido energético de los datos.

CRECIMIENTO

Indicadores de crecimiento

Los indicadores de crecimiento se presentan en la Tabla 3 y en la figura 11; esto se refiere a la tasa de crecimiento absoluto TCA, la tasa de crecimiento relativo TCR y la tasa de crecimiento específico TCE ó SRG.

Al comparar los resultados de ambas localidades con respecto a la TCA, el análisis de covarianza de los datos indicó que el peso inicial de los organismos no influyó en los resultados ($P > 0.05$). En cambio estos fueron influidos por las dietas experimentales. En Mérida los valores de los grupos alimentados con las dietas A, B, D y C fueron 50 y 33% mayores que en México respectivamente. Por otra parte la tasa de crecimiento específica (TCE o SGR) fue semejante en todos los grupos de ambas localidades ($P > 0.05$).

Las dietas suministradas a los acociles quela roja se caracterizaron por incluir 44% de carbohidratos totales, contenidos como almidón solamente en 100% en la dieta A y como fibra en 100% en la dieta B. En las mezclas, las proporciones del total de los carbohidratos fueron 16.5% de almidón y 27.3% de fibra en la dieta C y 33% de almidón y 11% de fibra en la dieta D. Por lo tanto las razones (tabla 2) entre lípidos y carbohidratos (L/C) fueron en todas las dietas de 0.27; en proteínas y carbohidratos (P/C) fueron 0.69 y proteína y energía (P/E) fueron de 0.66.

Tasa de Crecimiento

Con el fin de calcular la tasa de crecimiento, se efectuaron las regresiones entre los datos de crecimiento en peso húmedo (PH, g) de los acociles alimentados con las diferentes dietas y el tiempo (días)

(Tabla 4). De esta manera se obtuvieron los mejores valores de crecimiento de los acociles en las diferentes condiciones experimentales. Al respecto, el mejor modelo resultó ser el polinomio de segundo grado en ambas localidades.

Tabla 3. Indicadores de crecimiento: Tasas de crecimiento absoluta (TCA), relativa (TCR) y específica (TCE ó SGR).de *Cherax quadricarinatus* alimentado con dietas de diferente contenido de carbohidratos durante 60 días en condiciones controladas, en la localidad de Mérida, Yucatán y en México, D.F. Peso final: valores esperados utilizando los modelos polinomiales.

Dieta	Peso inicial (g)	Peso final (g)	TCA (g / día)	TCR (%)	TCE (SGR) (%)
<u>Mérida, Yucatán.</u>					
A	20.45 ± 1.20	29.05 ± 2.31	0.14	42.03	0.58
B	18.27 ± 1.00	22.93 ± 1.89	0.08	25.49	0.38
C	21.87 ± 1.49	25.35 ± 1.59	0.06	15.94	0.25
D	22.15 ± 1.19	29.10 ± 2.12	0.12	31.35	0.45
<u>México, D.F.</u>					
A	11.16 ± 0.53	15.21 ± 0.62	0.07	36.25	0.52
B	12.10 ± 0.33	14.76 ± 0.40	0.04	21.98	0.33
C	11.67 ± 0.96	14.05 ± 1.27	0.04	20.36	0.31
D	11.60 ± 0.79	15.26 ± 1.61	0.06	31.54	0.46

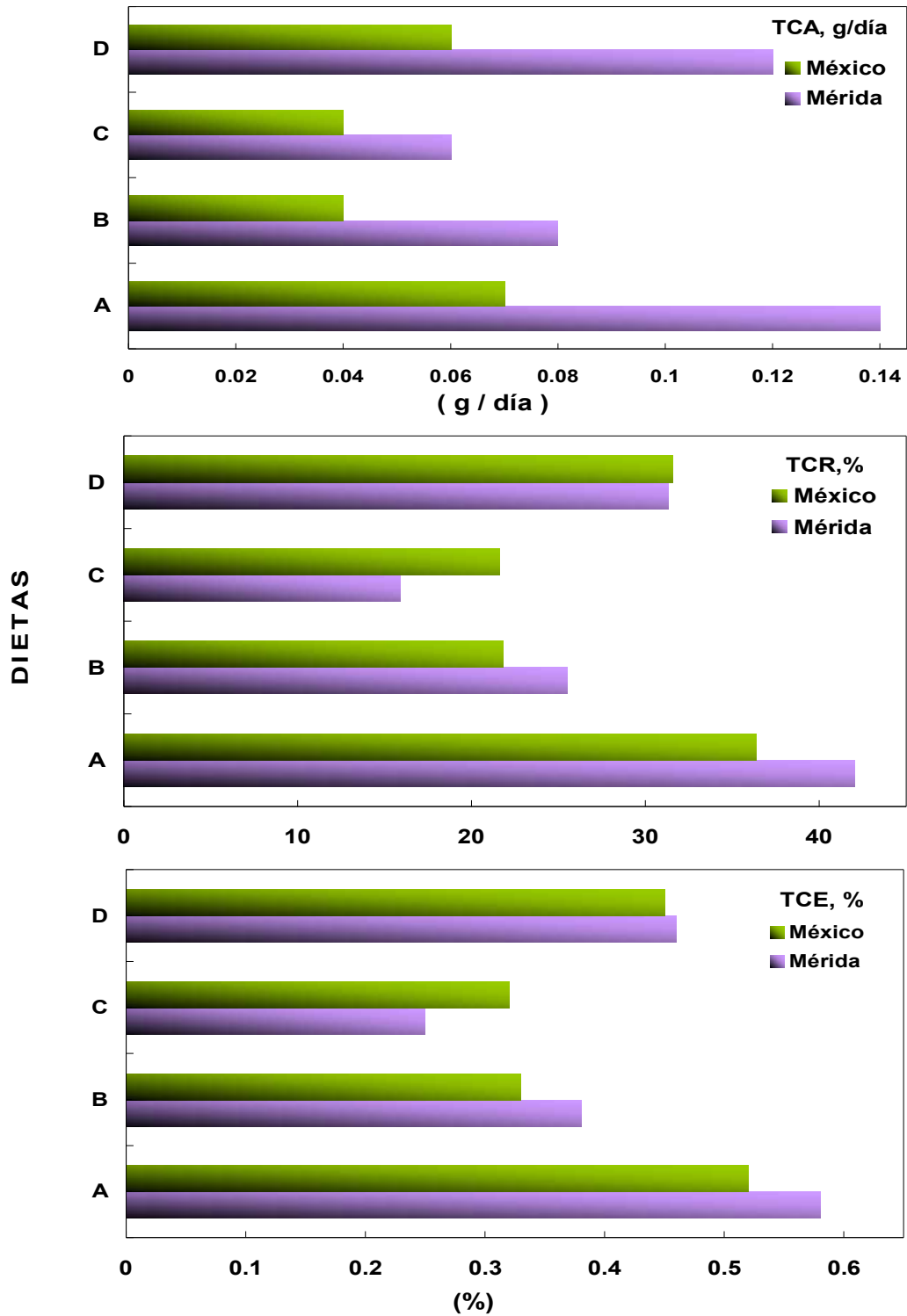


Fig. 11. Tasas de crecimiento absoluto (TCA, g/día), relativo (TCR, %) y crecimiento específico (TCE, %) de *Cherax quadricarinatus* alimentados con diferentes dietas (A - D) durante 60 días en Mérida, Yucatán y México, D.F.

Los estimadores de la bondad de ajuste correspondientes (Zar, 1999) indicaron que todos los modelos resultaron altamente significativos, con valores de los coeficientes de determinación superiores a 98% y $P = 0.0001 - 0.006$. Sin embargo la dispersión de los datos correspondiente al grupo alimentado con la dieta A, en Mérida, elevó el nivel de probabilidad a 0.104 (Tabla 4).

En la figura 12 se visualizan las relaciones entre el crecimiento de los acociles y el tiempo. Al respecto, se puede observar que en Mérida, Yucatán, los acociles que recibieron las dietas A y D presentaron el mayor aumento de peso en comparación con los que recibieron las dietas B y C hasta los 45 días; en seguida, al prolongar el estudio hasta los 60 días mostraron una disminución en el aumento de peso. El grupo que recibió la dieta C presentó la misma tendencia con menores valores de incremento en peso al prolongar el tratamiento. El incremento en peso de aquellos organismos que recibieron la dieta B fue el menor en los 60 días de duración del experimento.

En México, D.F., el comportamiento de las curvas de crecimiento de los cuatro grupos de acociles quela roja fue similar al de la localidad anterior ya que los grupos que recibieron las dietas A y D presentaron un incremento mayor en peso en comparación con los grupos B y C.

En esta localidad el grupo alimentado con la dieta B presentó una tasa de cambio en peso más acelerado que el de los organismos mantenidos con la misma dieta en Mérida.

Cabe señalar que en ninguna de las localidades se observaron diferencias significativas en el peso inicial de los organismos ($P > 0.05$). Sin embargo, al comparar los grupos experimentales entre estas localidades, se determinó diferencia significativa ($P < 0.05$) ya que los acociles de Mérida tuvieron pesos 35 a 48% mayores que los de México.

Tabla 4. Parámetros y estimadores de la regresión polinomial entre el peso húmedo (PH, g) y el tiempo (días) de *Cherax quadricarinatus* alimentado con dietas de diferente contenido de carbohidratos (A – D). Localidad: Mérida, Yuc. y México, D.F.

Parámetros y estimadores	A	B	C	D
<u>Mérida, Yucatán.</u>				
$\beta_0 \pm S_x$	20.45 ± 1.50	18.27 ± 0.29	21.87 ± 0.30	22.15 ± 0.16
$\beta_1 \pm S_x$	0.36 ± 0.12	0.14 ± 0.02	0.12 ± 0.02	0.28 ± 0.03
$\beta_2 \pm S_x$	-0.004 ± 0.0002	-0.001 ± 0.0004	-0.001 ± 0.0004	-0.003 ± 0.002
R ²	0.96	0.99	0.97	0.99
S	1.59	0.31	0.31	0.17
P	> 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
<u>México D.F.</u>				
$\beta_0 \pm S_x$	11.16 ± 0.12	12.10 ± 0.16	11.67 ± 0.29	11.60 ± 0.18
$\beta_1 \pm S_x$	0.10 ± 0.006	0.06 ± 0.008	0.06 ± 0.02	0.08 ± 0.01
$\beta_2 \pm S_x$	-5.1E ⁻⁴ ± 6.24E ⁻⁵	-2.4E ⁻⁴ ± 6.24E ⁻⁵	-3.7E ⁻⁴ ± 8.80E ⁻⁴	-4.5E ⁻⁴ ± 9.9E ⁻⁵
R ²	0.99	0.98	0.92	0.99
S	0.13	0.18	0.33	0.20
P	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05

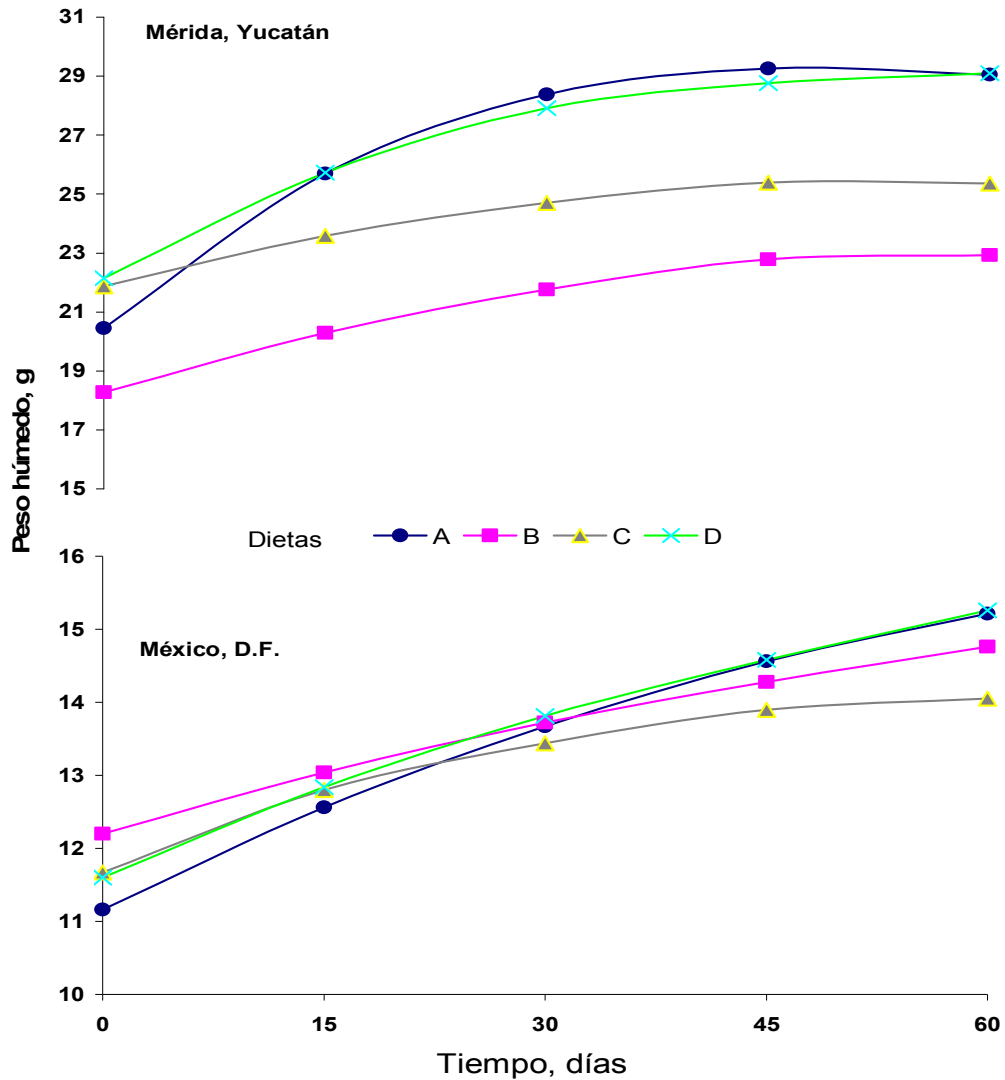


Fig. 12. Tasa de crecimiento (g/día) de *Cherax quadricarinatus* mantenido con dietas de diferente contenido de carbohidratos durante 60 días en Mérida, Yucatán y México, D.F.

Por estas razones al establecer las comparaciones del aumento de peso provocado por las diferentes dietas cada 15 días, los datos se expresaron como incremento relativo al periodo anterior por unidad de peso ($\Delta P, \% / g$):

$$\Delta P, \% = \{ [P (t) - P (t - 15)] / P (t - 15) \} 100$$

En la figura 13 se presentan estos resultados. Cabe señalar, en ambas localidades, que los acociles mantenidos con las dietas A y D tuvieron un incremento mayor a los 15 días, que los alimentados con las dietas B y C; el valor del ΔP (%/g) descendió rápidamente a partir de los 30 días.

Como se puede observar, en Mérida el ΔP (%/g) de los acociles alimentados con la dieta A, de 21%/g alcanzado en los primeros 15 días, disminuyó hasta -3.2%/g a los 60 días; lo cual significa un descenso de un 24.2%. Así mismo, con la dieta D el incremento de peso alcanzado a los 15 días de 13.9%/g disminuyó hasta alcanzar un valor negativo de -1.8 %/g a los 60 días, lo cual representa una disminución de un 15.7%. En contraste, el incremento de peso de los organismos, alimentados con las dietas B y C a los 60 días disminuyó un 7.6 y 6.4%/g respectivamente.

En México, D.F., el incremento relativo de peso de los acociles alimentados con las dietas A y D, en los primeros 15 días, fue de 11 y 10%/g posteriormente disminuyó, a los 60 días, hasta valores de 4.3 y 3.7%/g lo que significó una disminución del 6.8 y 6%/g respectivamente. En los organismos mantenidos con las dietas B y C el incremento en peso se redujo de 6.4 y 8.8 %/g a los 15 días a 3.1 y 2.0 %/g lo cual significa una disminución de 3.3 y 6.0 %/g respectivamente.

En la figura 14 se presentan los datos correspondientes al incremento en peso relativo por un lapso de 90 días en México, D.F. Se puede apreciar que las dietas A y D, con almidón solamente y con la mezcla con menor proporción de fibra que de almidón, no provocaron valores negativos del incremento relativo de peso transcurridos los 75 días ni al término de los 90 días.

En los acociles alimentados con la dieta B, cuyo contenido de carbohidratos era sólo fibra (α -celulosa), la tasa de cambio fue

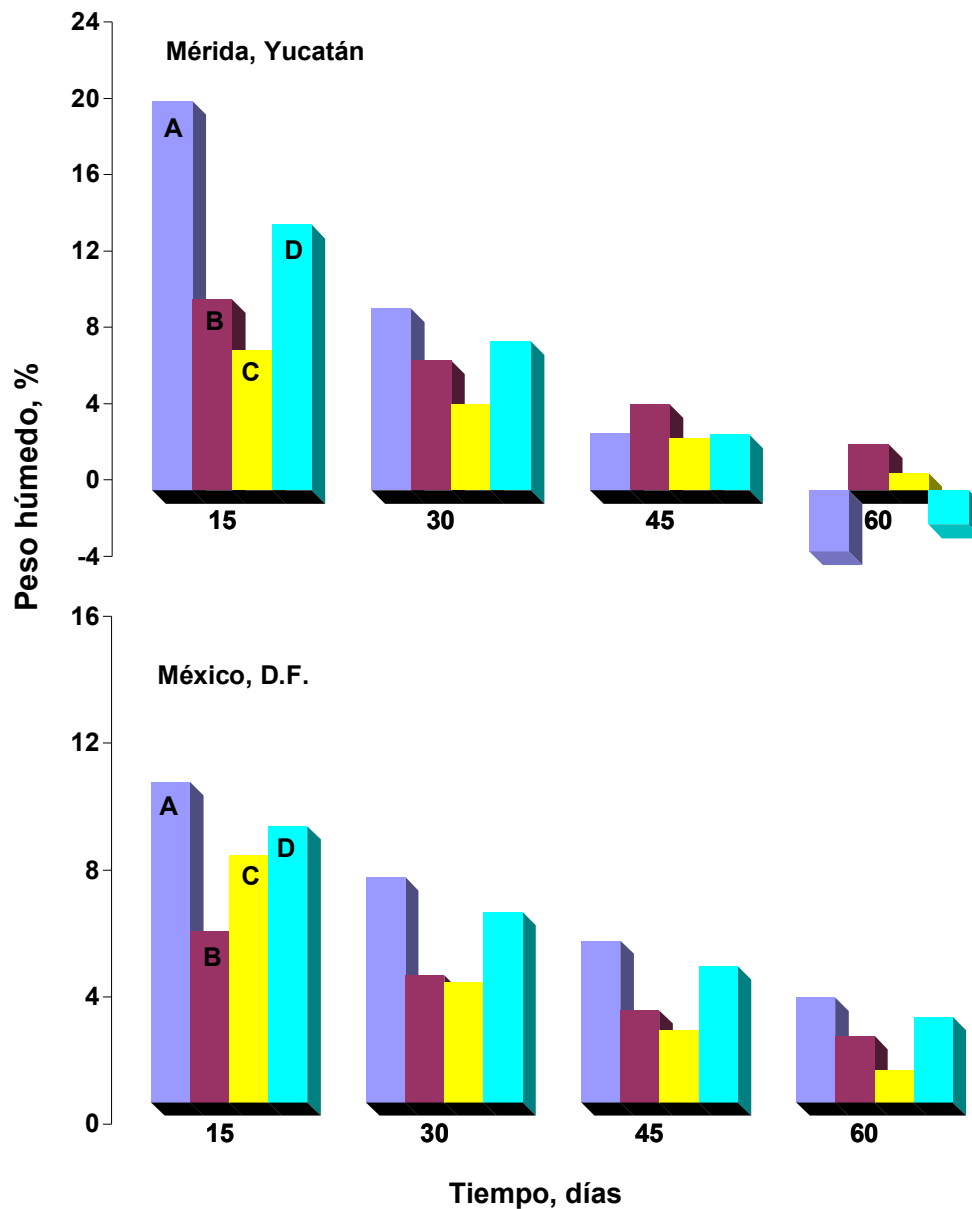


Fig. 13. Relación entre el incremento de peso relativo al período anterior (%) y el tiempo (días) de *C. quadricarinatus* mantenidos con dietas de diferente contenido de carbohidratos (A - D) en Mérida y en México durante 60 días. Dietas A, B, C y D.

declinando paulatinamente como se observó en el lapso de los 60 días, aunque con menor rapidez que los grupos mantenidos con las dietas A y

D, en cambio los organismos alimentados con la dieta C que contenía una mezcla con una mayor proporción de fibra que de almidón, la tasa de cambio del incremento en peso tuvo valores negativos.

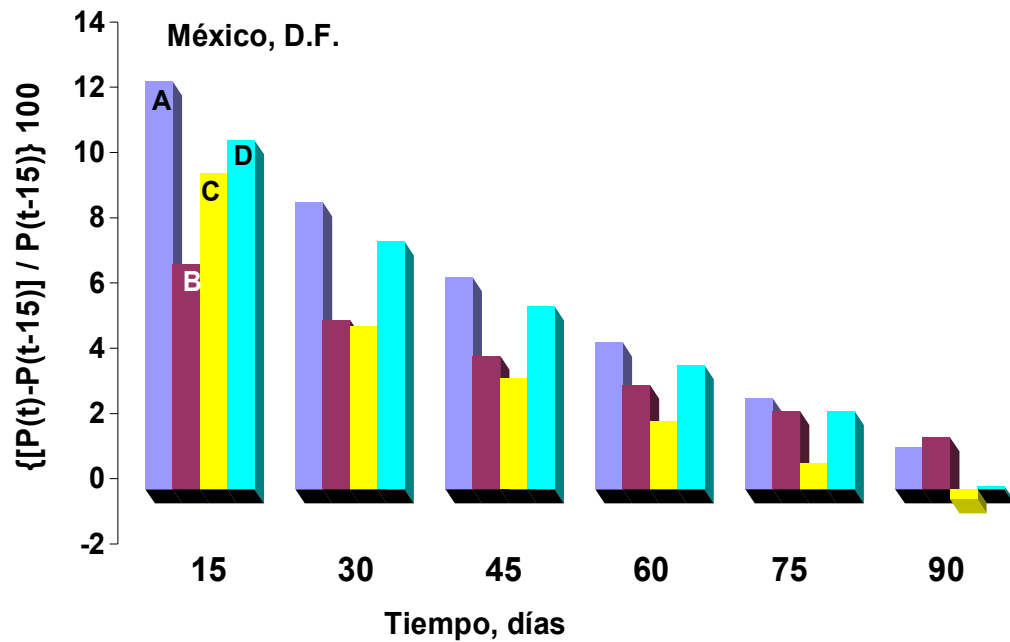


Fig.14. Relación entre el incremento en peso relativo al periodo anterior (%) y el tiempo (días) de *Cherax quadricarinatus* alimentado con dietas de diferente contenido de carbohidratos (A - D) en México, D.F. durante 90 días.

Tasas fisiológicas

Ingestión (I)

La tasa de ingestión ($\text{mg día}^{-1} \text{g}^{-1} \text{PS}$) de los acociles alimentados con las diferentes dietas en ambas localidades se presenta en la Tabla 5 y en la figura 15. Al realizar el análisis de covarianza de los datos tomando en cuenta tanto el peso inicial como las dietas suministradas se comprobó que estas variables influyeron significativamente la tasa de ingestión ($P < 0.05$).

En Mérida, Yucatán las dietas experimentales no influyeron la tasa de ingestión de los organismos ($P > 0.05$). En cambio en México, D.F., la tasa de ingestión de los organismos alimentados con la dieta D fue mayor que los mantenidos con las dietas A (48%), B (22%) y C (58%) ($P < 0.05$).

Producción de Heces (H)

El peso inicial de los acociles quela roja no tuvo efecto significativo ($P > 0.05$) sobre los valores de la producción de heces (H, $\text{mg día}^{-1} \text{g}^{-1}$ PS). Estos valores se muestran en la Tabla 5 y la figura 15. En contraste los valores de esta tasa fueron de dos a cinco veces mayores en Mérida que en México. En la primera localidad las heces representaron el 36% del alimento ingerido en el grupo alimentado con la dieta A, el 46% en los grupos alimentados con las dietas B y C y el 37% con la dieta D. En México, D.F., la evacuación fue menor, alcanzando sólo entre 26 y 30% del alimento ingerido en los grupos alimentados con las mismas dietas ($P < 0.05$).

Asimilación (A)

Los valores de la tasa de asimilación (Tabla 5 y Fig. 15) tanto en Mérida, Yucatán como en México, D.F., fueron influidos por el peso inicial de los organismos ($P < 0.05$). Con respecto a la localidad en Mérida no se detectó la influencia de la dieta ($P > 0.05$), sin embargo en México las diferencias entre los grupos fueron altamente significativas ($P < 0.05$). Estas diferencias se encontraron entre los grupos de organismos alimentados con la dieta C y aquellos alimentados con las dietas A (19%), B (49%) y D (59%).

Eficiencia de Asimilación (Ef. A)

Mediante el análisis de covarianza se comprobó que el peso inicial de los acociles y la dieta ejercieron efectos significativos ($P < 0.05$) sobre la eficiencia de asimilación (Tabla 5). En México, D.F., esta eficiencia fue mayor que en Mérida en todos los grupos experimentales.

Tabla 5. Tasas de ingestión (I, mg día⁻¹ g⁻¹ PS), producción de heces (H, mg día⁻¹ g⁻¹ PS), asimilación (A, mg día⁻¹ g⁻¹ PS), eficiencia de asimilación (Ef. A, %) de *Cherax quadricarinatus* alimentado con diferentes dietas (A – D), durante 60 días en Mérida, Yucatán y en México, D.F.

Tasas				
Fisiológicas	A	B	C	D
<u>Mérida, Yuc.</u>				
I	39.31 ± 4.69	52.81 ± 5.64	43.28 ± 3.24	39.39 ± 3.94
H	14.15 ± 0.01	23.79 ± 3.33	20.04 ± 2.27	14.73 ± 1.19
A	25.16 ± 3.52	29.02 ± 4.37	23.24 ± 1.87	24.66 ± 3.09
Ef. A	64.01	54.95	53.69	62.60
<u>México, D.F.</u>				
I	16.54 ± 1.21	24.82 ± 2.09	13.20 ± 0.68	32.09 ± 1.57
H	4.91 ± 0.43	6.42 ± 0.37	3.77 ± 0.18	8.80 ± 0.42
A	11.63 ± 0.86	18.40 ± 1.80	9.45 ± 0.52	23.29 ± 1.18
Ef. A	70.31	74.13	71.59	72.57

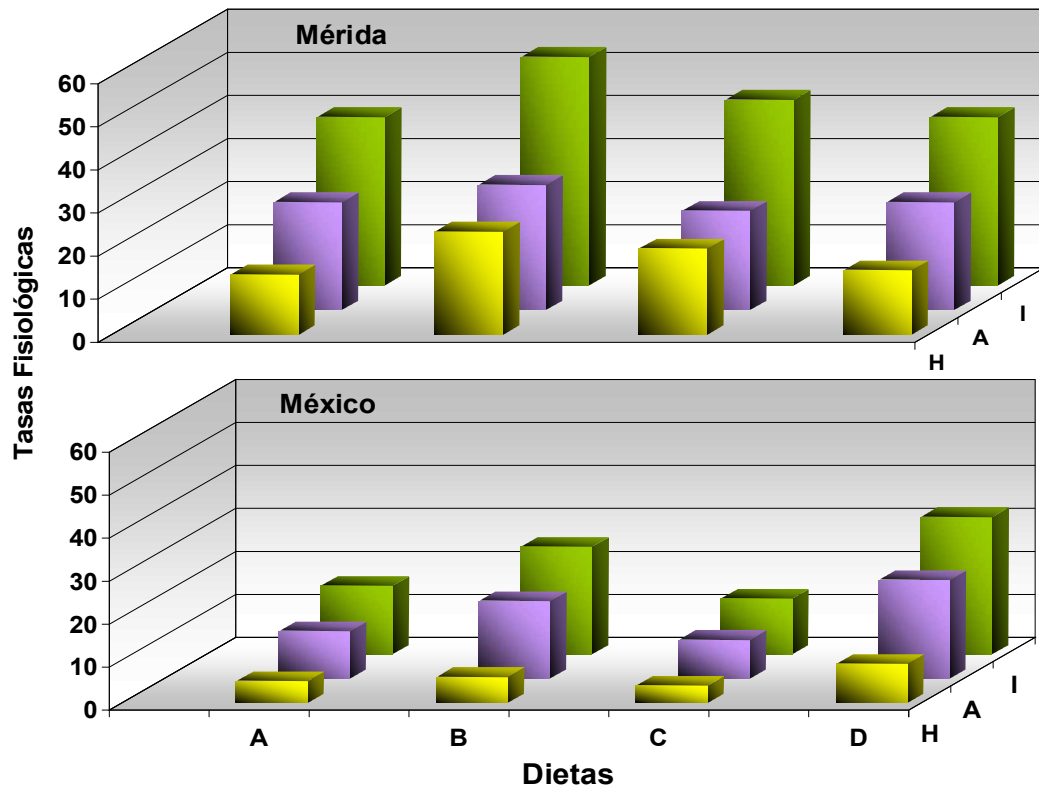


Fig. 15. Tasas fisiológicas ($\text{mg día}^{-1} \text{g}^{-1} \text{PS}$): ingestión (I), asimilación (A) y producción de heces (H) de *Cherax quadricarinatus* alimentados con diferentes dietas durante 60 días en Mérida, Yucatán y México, D.F.

Tasa Respiratoria (R)

Los resultados correspondientes a la tasa respiratoria de *Cherax quadricarinatus* medida como consumo de oxígeno ($\text{mg día}^{-1} \text{g}^{-1} \text{PS}$), se presentan en la Tabla 6 y figura 16.

Los resultados indicaron que tanto el peso inicial como la dieta modificaron el consumo de oxígeno de los acociles que la roja ($P < 0.05$). En Mérida, Yucatán las diferencias entre los distintos grupos no resultaron significativas ($P > 0.05$). En cambio en México, D.F., los organismos alimentados con la dieta C tuvieron una tasa menor que los mantenidos con la dieta A (47%), B (53%) y D (51%). Al comparar ambas localidades se encontró que en México, D.F., los organismos alimenta-

dos con las dietas A y B tuvieron un consumo de oxígeno 30% mayor que en Mérida, Yucatán. En los grupos mantenidos con las dietas C y D el consumo de oxígeno 25 42% mayor en Mérida que en México.

Eficiencia de Extracción de Oxígeno (EEO)

En Mérida, Yucatán las diferencias encontradas, entre los diversos grupos experimentales respecto a la eficiencia de extracción de oxígeno (EEO) fueron significativas ($P < 0.05$). Cabe resaltar que el grupo que recibió la dieta D tuvo el menor valor mientras que el mayor se observó en el grupo mantenido con la dieta B. De esta manera la comparación entre los grupos mantenidos con las dietas experimentales fue: $A > C$ (21%) y $A > D$ (36%); $B > C$ (30%) y $B > D$ (43%) tabla 6.

Las diferencias encontradas en la eficiencia de extracción de oxígeno (EEO) en México, D.F., de igual manera que en la localidad anterior fueron significativas ($P < 0.05$). Los grupos mantenidos con las dietas B y D tuvieron valores 30 y 32% mayores que el grupo mantenido con la dieta A.

En referencia a la localidad, los acociles quela roja en Mérida, Yucatán utilizaron en promedio 80% del oxígeno disponible, independientemente de la dieta suministrada (Tabla 6).

Mediante el análisis de covarianza (ANCOVA) se comprobó que las diferencias encontradas entre los grupos alimentados con las dietas experimentales B, C y D no se atribuyeron al peso inicial de los organismos. En los acociles alimentados con la dieta B la EEO fue 20% mayor en México que en Mérida; así mismo en los mantenidos con las dietas C y D tuvieron valores 34 y 56% mayores en México ($P < 0.05$).

Efecto Dinámico Específico (EDE)

Los valores del efecto dinámico específico (EDE, $\text{mg día}^{-1} \text{g}^{-1} \text{PS}$) o incremento calórico aparente de los acociles quela roja se presentan en

Tabla 6. Tasas de consumo de oxígeno (R, mg día⁻¹ g⁻¹ PS), efecto dinámico específico (EDE, mg O₂ día⁻¹ g⁻¹ PS) y eficiencia de extracción de oxígeno (EEO, %) de *Cherax quadricarinatus* alimentado con diferentes dietas (A – D), durante 60 días en Mérida, Yucatán y México, D.F. ($\bar{X} \pm S\bar{x}$).

Tasas Fisiológicas	A	B	C	D
<u>Mérida, Yucatán</u>				
R	7.88 ± 1.86	8.87 ± 1.44	7.93 ± 1.50	7.10 ± 1.03
EDE	2.75 ± 0.27	3.87 ± 0.28	2.48 ± 0.27	2.61 ± 0.29
EEO	23.11 ± 0.64	25.94 ± 2.09	18.26 ± 1.24	14.83 ± 0.98
<u>México, D.F.</u>				
R	11.20 ± 1.35	12.76 ± 0.48	5.95 ± 0.64	12.22 ± 0.67
EDE	1.26 ± 0.11	1.93 ± 0.32	1.29 ± 0.14	1.63 ± 0.14
EEO	22.94 ± 1.70	32.62 ± 2.94	27.62 ± 1.58	33.79 ± 2.46

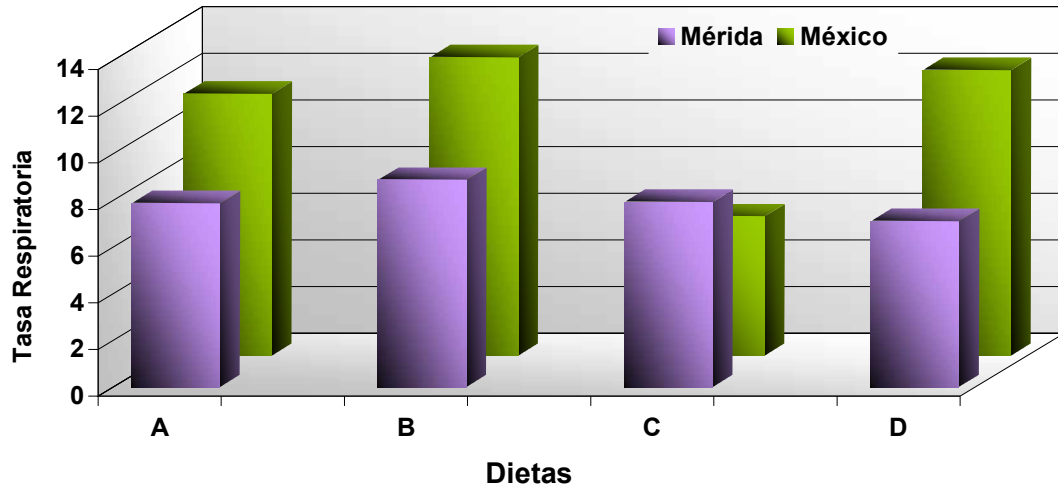


Fig. 16. Tasa respiratoria ($\text{mg O}_2 \text{ día}^{-1} \text{g}^{-1} \text{ PS}$) de *Cherax quadricarinatus* alimentados con diferentes dietas (A - D) durante 60 días en Mérida, Yucatán y México, D.F.

la Tabla 6. El análisis de covarianza de los datos de ambas localidades indicó que sólo la dieta tuvo una influencia significativa en el EDE ($P < 0.05$). Así mismo el análisis de comparación múltiple de Duncan reflejó una diferencia significativa al comparar los grupos alimentados con la dieta D ($P < 0.05$) siendo 37 a 54% mayor el valor en México, D.F., que en Mérida, Yucatán ($P < 0.05$). En los experimentos realizados en Mérida, Yucatán los valores del EDE de los grupos alimentados con la dieta B fueron 29, 36 y 33% mayores que con las dietas A, C y D. En México el valor del grupo alimentado con la dieta B fue 35, 33 y 15% mayor que el de los acociles mantenidos con las dietas A, C y D respectivamente.

Tasa de excreción nitrogenada (U)

En la figura 17 se presentan los valores de la tasa de excreción amoniacal (U, $\mu\text{g N-NH}_3 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ PS}$). El peso inicial de los acociles no influyó significativamente la tasa de excreción ($P > 0.05$) en cambio la dieta tuvo un efecto significativo en los valores de esta tasa ($P < 0.05$); en Mérida, Yucatán los valores de los acociles mantenidos con las

diferentes dietas A, B, C y D, fueron 53, 60, 55 y 25% mayores que en México, D.F. En Mérida las diferencias de los resultados fueron significativas ($P < 0.05$) atribuidas a los organismos alimentados con la dieta B, cuyo valor fue 29, 26 y 31% mayor que los alimentados con las dietas A, C y D respectivamente. En México en cambio los acociles alimentados con la dieta D tuvieron una excreción amoniaca 36% mayor que aquellos que recibieron las dietas A y C y de 22% de los acociles alimentados con la dieta B ($P < 0.05$).

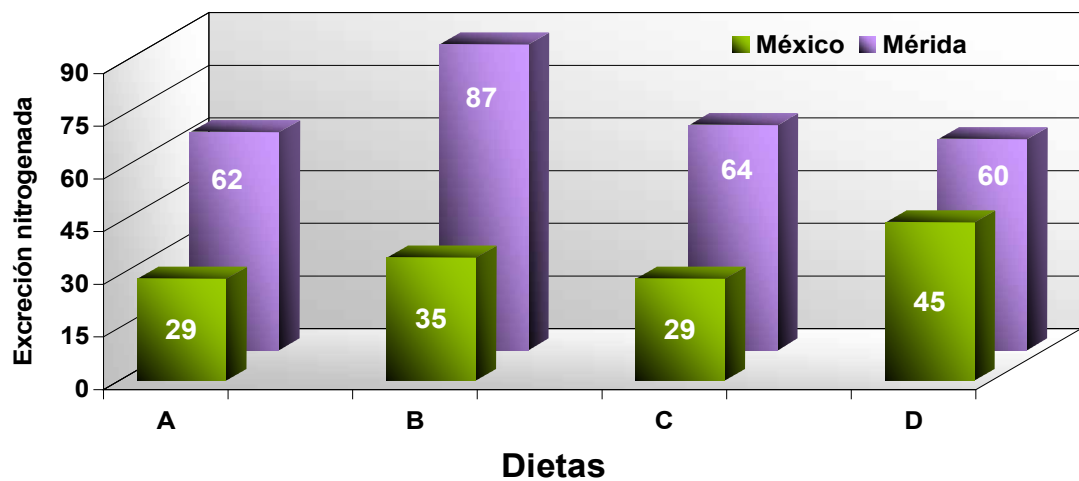


Fig. 17. Tasa de excreción nitrogenada ($\mu\text{g N-NH}_3 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ PS}$) de *Cherax quadricarinatus* alimentados con diferentes dietas (A - D) durante 60 días en Mérida, Yucatán y México, D.F.

Eficiencias de Crecimiento Bruta, K_1 y Neta K_2

Las eficiencias de crecimiento bruta (K_1) y neta (K_2) de los acociles mantenidos con las diferentes dietas y en ambas localidades se presentan en la Tabla 7 y figura 18. Mediante el análisis de covarianza se corroboró que el peso inicial de los organismos no tuvo efecto significativo sobre las eficiencias de crecimiento ($P > 0.05$). En cambio el efecto de la dieta fue significativo ($P < 0.05$). La prueba de comparación múltiple de Duncan estableció que solamente los grupos alimentados con la dieta A fueron 72% mayores en Mérida que en México. En Mérida, los valores de K_1 alcanzaron en promedio el 50%; también se detectaron

diferencias ($P < 0.05$) entre la dieta A (22%) mayor que la dieta B. En México con la dieta A se obtuvieron valores de K_1 menores que con las dietas B (45%), C (51%) y D (63%); estas diferencias fueron significativas ($P < 0.05$).

Con respecto a la eficiencia neta de crecimiento (K_2) en Mérida el valor promedio obtenido fue de 69% y no se observaron efectos de las dietas ($P > 0.05$). En México, D.F., los valores de K_2 fueron influidos por la dieta ($P < 0.05$). Los organismos alimentados con la dieta A tuvieron valores 45, 51 y 62% menores que con las dietas B, C y D respectivamente.

Tabla 7. Eficiencias de crecimiento bruta (K_1 , %) y neta (K_2 , %) de *Cherax quadricarinatus* alimentado con dietas de diferente contenido de carbohidratos (A – D), durante 60 días en Mérida, Yucatán y México, D.F.

Tasas Fisiológicas	A	B	C	D
<u>Mérida, Yucatán</u>				
K_1	54.95	42.67	49.48	51.42
K_2	71.03	65.16	71.05	71.69
<u>México, D.F.</u>				
K_1	15.36	28.17	31.60	41.05
K_2	19.66	35.64	40.50	52.20

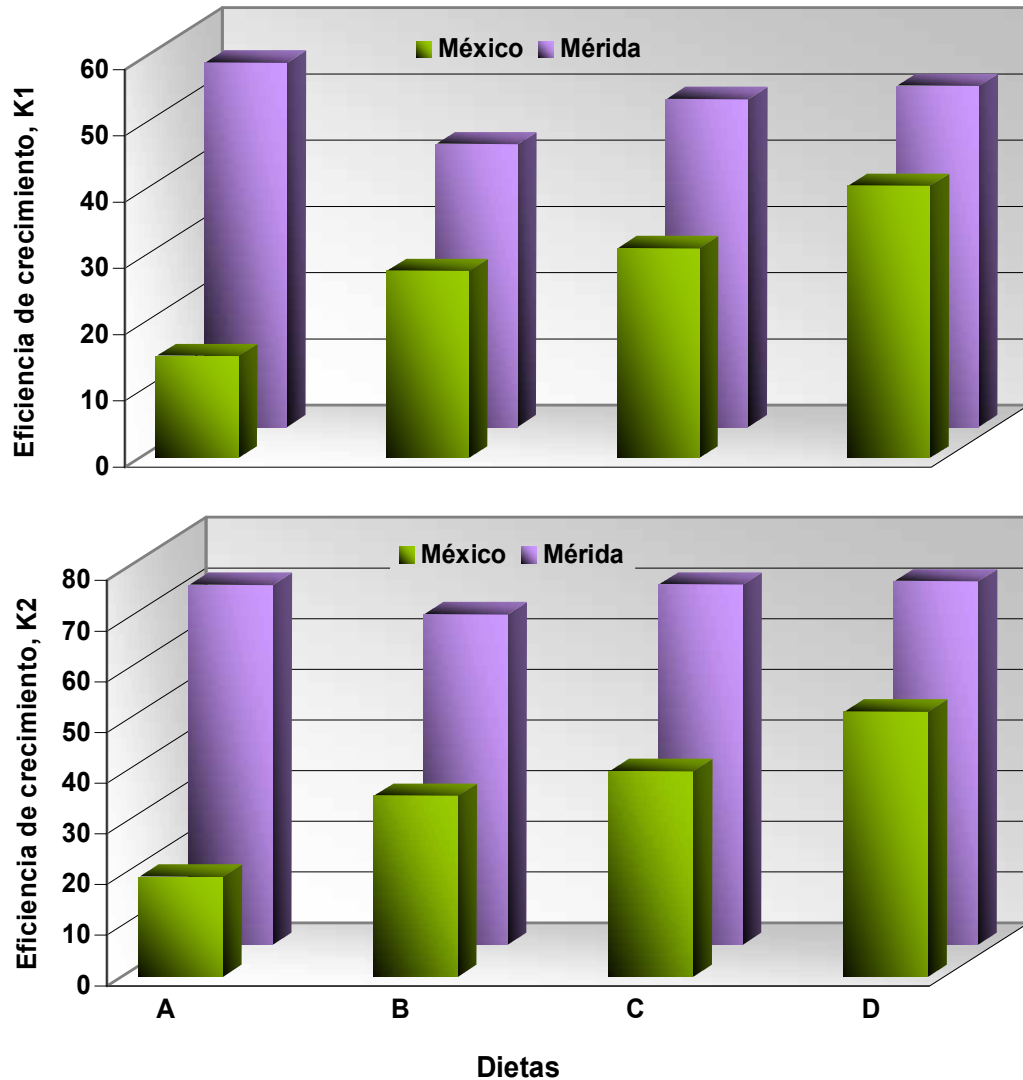


Fig.18. Eficiencias de crecimiento bruta (K_1 , %) y neta (K_2 , %) de *Cherax quadricarinatus* alimentado con dietas de diferente contenido de carbohidratos (A – D), durante 60 días en Mérida, Yucatán y México, D.F.

Muda (m)

Los valores calóricos de las mudas ($\text{cal d}^{-1} \text{g}^{-1} \text{PS}$) determinados para ambas localidades se presentan en la Tabla 8 y figura 19. Al comparar los resultados de los grupos de Mérida y México mediante el análisis de covarianza se encontró que el peso inicial de los acociles no influyó significativamente los resultados ($P > 0.05$). En cambio la tasa de muda

de los diferentes grupos alimentados con las dietas B y D fueron 33 y 50% mayores en México que en Mérida ($P < 0.05$).

Con respecto a las localidades la dieta tuvo un efecto significativo solamente en México, D.F., siendo el grupo alimentado con la dieta C el que tuvo un valor 33% menor que el de los grupos mantenidos con las dietas B y D.

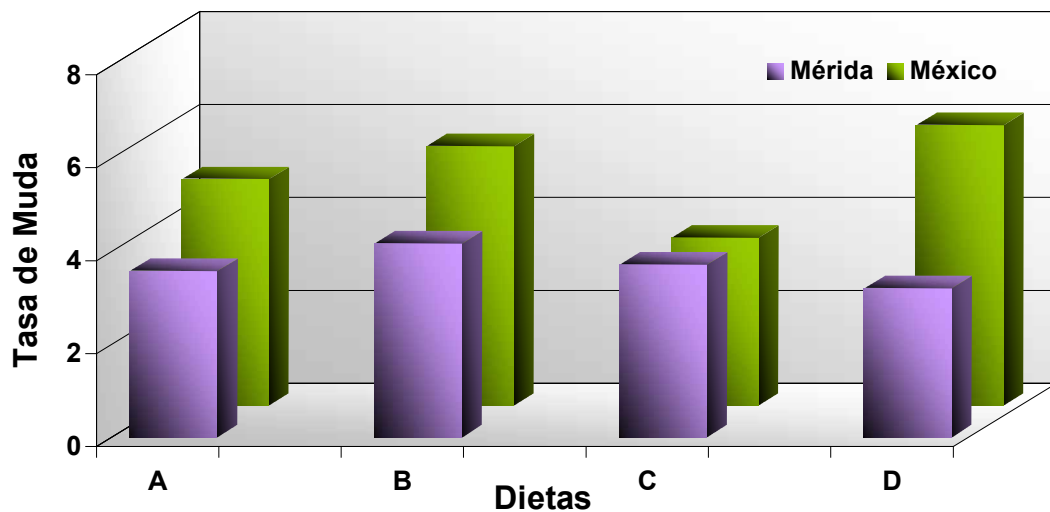


Fig.19. Tasa de muda ($\text{cal día}^{-1}\text{g}^{-1}\text{ PS}$) de *C. quadricarinatus* alimentado con diferentes dietas (A-D), durante 60 días en Mérida, Yucatán y México, D.F.

Campo de Crecimiento (P)

Los valores calóricos ($\text{cal día}^{-1}\text{g}^{-1}\text{ PS}$) de las tasas fisiológicas utilizadas para calcular el campo de crecimiento o energía potencial de crecimiento (P) de los acociles quela roja en las distintas condiciones experimentales: dietas (A – D) y localidades, se muestran en la Tabla 8 y figura 20. La distribución de la energía de los grupos alimentados con las dietas A y B se muestra figura 19, la figura 20, muestra los resultados que al respecto se obtuvieron con las dietas C y D.

Al establecer la comparación, entre ambas localidades del estudio,

los resultados de los diferentes grupos experimentales en Mérida fueron uno a ocho veces mayores que los de México. Estos valores fueron influidos tanto por el peso inicial de los organismos como por las dietas suministradas ($P < 0.05$). El efecto de la dieta sobre la energía potencial de crecimiento fue evidente en todos los grupos en México. La diferencia fue 89, 62, 78 y 28% mayor en los grupos mantenidos en Mérida en comparación con los alimentados en México.

En Mérida, Yucatán los valores de P de los diferentes grupos experimentales, fueron semejantes ($P > 0.05$). En México, en cambio, la dieta influyó los resultados de P; el grupo mantenido con la dieta D fue 83, 43 y 69% mayor que los grupos alimentados con las dietas A, B y C ($P < 0.05$).

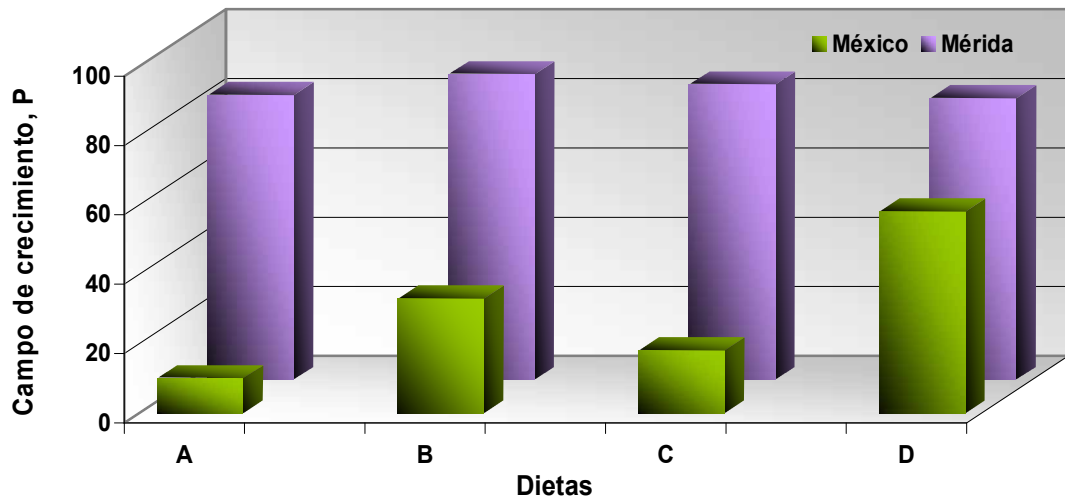


Fig. 20. Campo de crecimiento (P , $\text{cal día}^{-1}\text{g}^{-1}$ PS) de *Cherax quadricarinatus* alimentados con diferentes dietas (A - D) durante 60 días en Mérida, Yucatán y México, D.F.

Balance energético

En Mérida, Yucatán, los acociles quela roja alimentados con la dieta B utilizaron en el metabolismo respiratorio 11% más energía que los mantenidos con la dieta A y perdieron 29 y 50% más como calor y vía

Tabla 8. Valores calóricos (cal día⁻¹ g⁻¹ PS) de las tasas de ingestión (I), producción de heces (H), efecto dinámico específico (EDE), consumo de oxígeno (R), excreción nitrogenada (U), muda (m) y campo de crecimiento (P) de *Cherax quadricarinatus* alimentado con dietas de diferente contenido de carbohidratos (A – D) durante 60 días en Mérida, Yucatán y México D.F. $\bar{X} \pm S\bar{x}$.

Tasas Fisiológicas	A	B	C	D
<u>Mérida, Yucatán</u>				
I	159.41 ± 19.02	210.96 ± 22.54	179.73 ± 13.46	157.93 ± 15.81
H	37.48 ± 3.95	74.94 ± 10.49	55.10 ± 6.25	43.84 ± 3.53
R	26.79 ± 0.33	30.17 ± 0.91	26.96 ± 0.58	24.16 ± 0.49
EDE	9.34 ± 0.92	13.16 ± 0.95	8.34 ± 0.91	5.53 ± 0.89
U	0.37 ± 0.03	0.52 ± 0.03	0.38 ± 0.04	0.36 ± 0.03
m	3.57 ± 0.27	4.17 ± 0.25	3.71 ± 0.50	3.20 ± 0.23
P	81.86	88.00	85.24	80.84
<u>México, D.F.</u>				
I	74.04 ± 5.79	113.10 ± 10.13	60.11 ± 3.24	145.47 ± 7.55
H	17.12 ± 1.52	24.24 ± 1.40	13.12 ± 0.64	30.98 ± 1.47
R	38.08 ± 0.60	43.40 ± 1.64	20.22 ± 0.18	41.54 ± 0.28
EDE	4.28 ± 0.11	6.56 ± 0.08	4.39 ± 0.06	8.87 ± 0.17
U	0.17 ± 0.02	0.21 ± 0.04	0.17 ± 0.01	0.27 ± 0.02
m	4.87 ± 0.31	5.58 ± 0.38	3.61 ± 0.55	6.03 ± 0.96
P	9.57	33.22	18.21	57.74

heces que los organismos mantenidos con la dieta A así mismo la energía perdida a través de productos nitrogenados y de la muda fue más alta (29 y 14%) en el grupo B que en el grupo A. Consecuentemente, la energía del alimento ingerido canalizada hacia campo de crecimiento, fue 20% mayor en los organismos mantenidos con la dieta A que con la dieta B (Fig. 21).

Con respecto a los acociles mantenidos en México, D.F., el grupo al que se le proporcionó la dieta A, perdió menor cantidad de energía en heces (28%), excreción nitrogenada (19%) y generación de calor (35%) que el grupo alimentado con la dieta B; sin embargo, este grupo perdió 13% más energía a través de la muda que el grupo A. La energía utilizada en el metabolismo respiratorio en el grupo B fue superior (12%) al grupo A. Por lo tanto la energía potencial de crecimiento fue más alta 7% en el grupo B que en el grupo A (Fig. 21).

En Mérida, Yuc. la energía perdida en heces fue 20% mayor en el grupo alimentado con la dieta C que en aquellos que recibieron la dieta D. Un comportamiento similar se observó en la magnitud de energía perdida, vía producción de calor (EDE) donde el grupo alimentado con la dieta C fue 34% mayor que en el grupo que recibió la dieta D (Fig. 22).

En lo que respecta a la fracción de energía perdida a través de la muda ésta fue 14% mayor en el grupo C que en aquellos que recibieron la dieta D, la tasa respiratoria en el grupo mantenido con la dieta C alcanzó un valor 10% más alto que en el grupo D. La fracción de energía perdida, vía productos nitrogenados en el grupo mantenido con la dieta C alcanzó valores 3% mayores que el grupo alimentado con la dieta D. La fracción de energía canalizada al campo de crecimiento fue 5% mayor en el grupo mantenido con la dieta C con más fibra que almidón (Fig. 22).

En México, D.F., el grupo de acociles alimentados con la dieta C

–con más fibra que almidón - canalizó 58, 37 y 40% menos energía en la producción de heces, productos nitrogenados y muda que el grupo que recibió la dieta D, con más almidón que fibra. La fracción de la energía contenida en el alimento ingerido utilizada en la tasa respiratoria fue 51% menor en el grupo alimentado con la dieta C en comparación con el grupo alimentado con la dieta D. De igual manera la energía perdida como calor (EDE) fue 50% menor en el grupo de acociles alimentados con la dieta C que el mantenido con la dieta D. Así, la energía canalizada al campo de crecimiento fue 69% mayor en el grupo D que en el grupo C (Fig. 22).

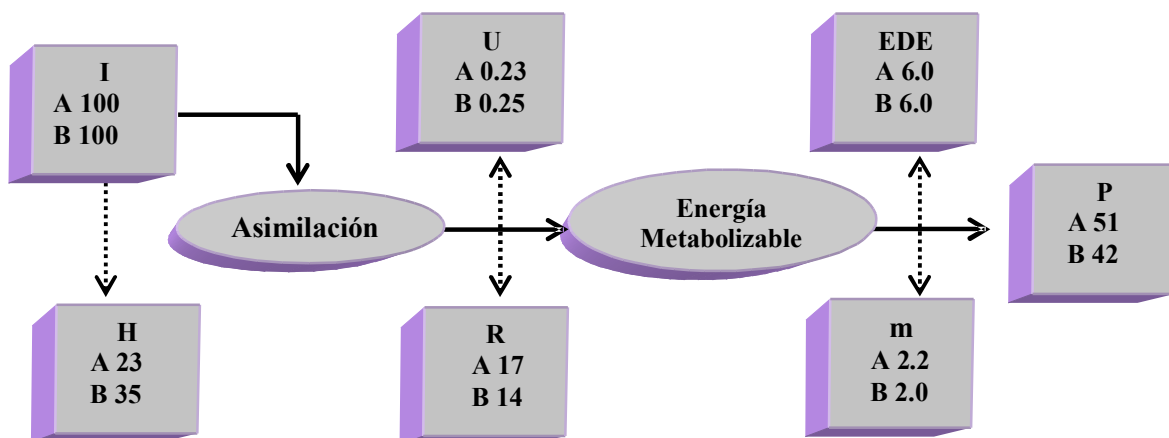
DISCUSIÓN

Los resultados indican que las condiciones a las que se expusieron los acociles así como las dietas proporcionadas, fueron adecuadas, ya que la sobrevivencia obtenida fue cercana al 100% y los organismos crecieron.

Con respecto a las condiciones del mantenimiento de los acociles quela roja, en este trabajo se tomó en cuenta la forma de los recipientes que contenían individualmente los especímenes con el fin de evitar el canibalismo. Se utilizaron cubetas cilíndricas, cuya forma está asociada a la magnitud del movimiento de la columna de agua asegurando una mezcla adecuada (D'Abramo, 2002).

Debido a la íntima relación entre el organismo y el ambiente, los factores que constituyen la calidad de agua para el cultivo tienen gran importancia ya que limitan la capacidad potencial de desempeño de la especie establecida genéticamente (Schreck y Li, 1991). Por tal razón, se trabajó en condiciones físicas y químicas controladas. Al respecto Anguas-Velez *et al.* (2000) refieren que en los acociles, el tamaño y los factores del medio afectan los requerimientos de nutrientes y de energía así como la digestibilidad de varios componentes de la dieta.

Mérida, Yucatán.



México, D. F.

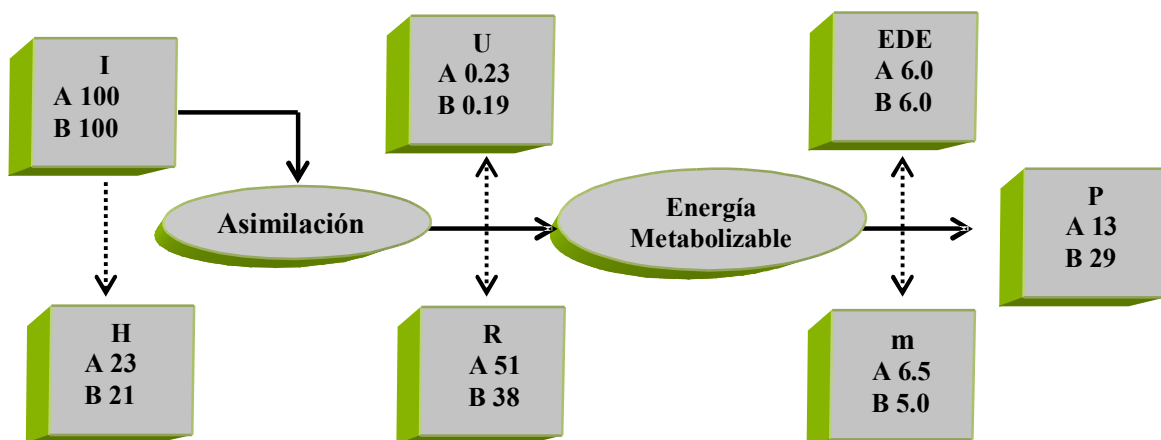
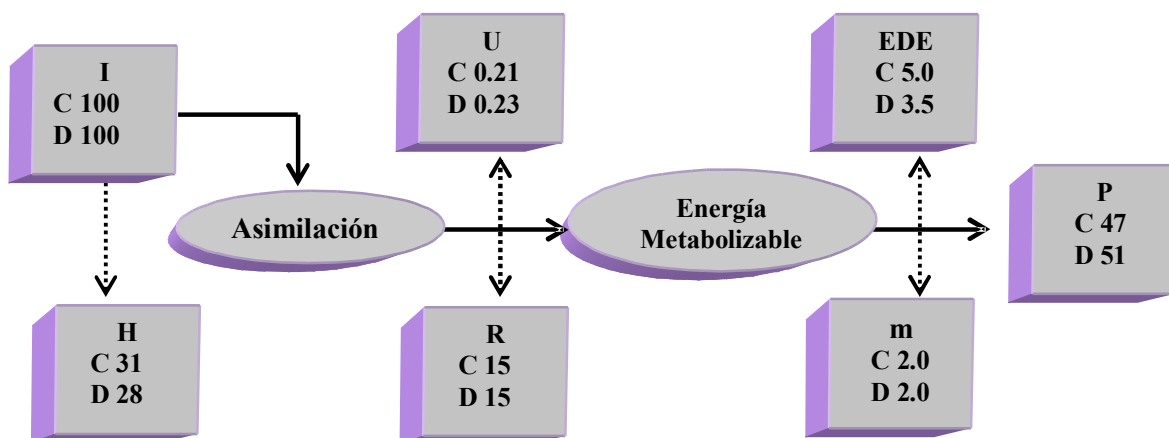


Fig. 21. Balance energético (%) de *Cherax quadricarinatus* alimentados con las dietas experimentales A y B en Mérida, Yucatán y México, D.F.

Mérida, Yucatán.



México, D. F.

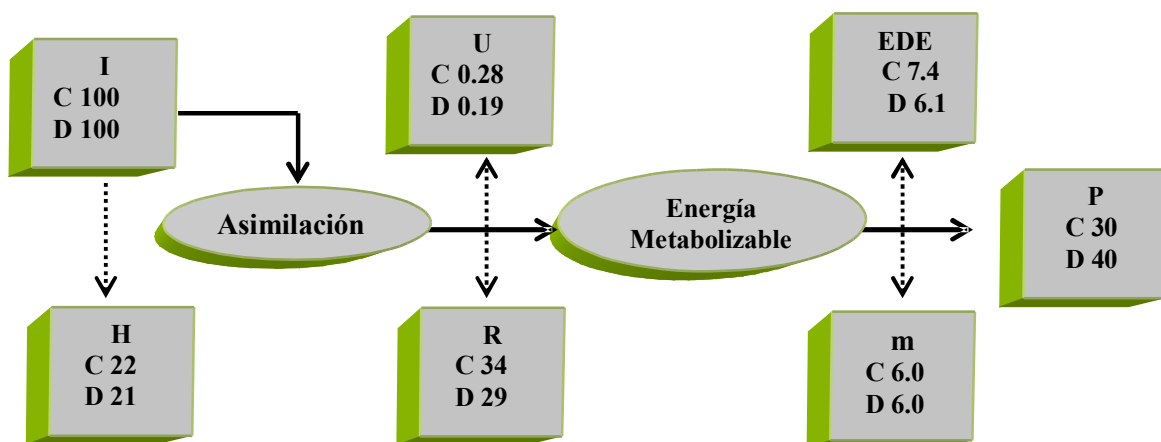


Fig. 22. Balance energético (%) de *Cherax quadricarinatus* alimentados con las dietas experimentales C y D en Mérida, Yucatán y México, D.F.

El mantenimiento de una calidad de agua apropiada para *C. quadricarinatus* es este trabajo, se obtuvo evitando la acumulación de alimento y de heces en los recipientes que contenían los acociles, así como una aireación, filtración y circulación convenientes.

También es posible aseverar, con base en lo señalado en la literatura (Yeh y Rouse, 1994) que en el presente estudio, las condiciones ambientales durante el periodo de mantenimiento de los acociles quela roja así como en la fase experimental fueron adecuadas.

En referencia a los acociles australianos del género *Cherax* se menciona que toleran amplias variaciones de temperatura y que entre 23 y 31 °C alcanzan el 70% de su crecimiento máximo (Yeh y Rouse, 1994). En este trabajo los acociles se mantuvieron a 28 °C valor que se encuentra dentro del intervalo propuesto por los autores mencionados.

Así mismo, en cuanto al oxígeno disuelto y al pH del agua los valores concuerdan con lo referido en otros trabajos para la misma especie. Jones (1988) indica que *C. quadricarinatus* soporta condiciones adversas incluyendo niveles de oxígeno disuelto tan bajos como 1.0 mg/L, siendo los juveniles menos tolerantes que los adultos y que puede subsistir en buenas condiciones en intervalos de alcalinidad de 20 a 300 mg CaCO₃/L y pH de 6.5 a 9.0. Con respecto a los niveles de amoníaco y nitritos, resisten concentraciones superiores a 1.0 mg/L. Así, las condiciones referidas por los autores mencionados fueron similares a las mantenidas en esta investigación.

Los crustáceos requieren una mezcla balanceada de los varios componentes de la dieta acorde a las condiciones ambientales preponderantes; también es necesario agregar materia vegetal ya que es imprescindible para tener altos índices de sobrevivencia así como una eficiente conversión del alimento (Venkataramiah *et al.*, 1975). Los acociles quela roja se alimentaron con dietas isoprotéicas e isolipídicas

elaboradas con mezclas de harina de pescado, aceite vegetal y animal, almidón de maíz, α -celulosa (fibra), minerales, vitaminas y colesterol acorde a Hernández-Vergara *et al.* (2000) quienes encontraron que dichas características eran suficientes para *Cherax quadricarinatus*.

Meade y Watts (1995) refieren que el mantenimiento de acociles de *C. quadricarinatus* y *Procambarus clarkii* con dietas que contenían 30% de proteínas, 10% de lípidos y 10% de carbohidratos totales, coincidentes con las condiciones prevalecientes en este trabajo, presentaron altas tasas de sobrevivencia y de crecimiento.

Es necesario tener en cuenta que la producción de los organismos en cautiverio está íntimamente asociada con la sobrevivencia y el crecimiento de los organismos en cultivo; esto es importante debido a que incide en el valor del producto. En los crustáceos, el precio aumenta con el tamaño de los especímenes (Schreck y Li, 1991).

El crecimiento depende tanto de los factores genéticos de la población como de los factores ambientales entre los cuales los de mayor influencia son la temperatura, la disponibilidad de alimento y la interacción intraespecífica. Gu *et al.* (1995) encontraron diferencias en la ganancia de peso en poblaciones de *C. quadricarinatus* provenientes de tres sistemas ribereños del norte de Queensland, Australia, hecho que se atribuye a diferencias en los factores genéticos de las poblaciones.

En relación a la competencia por el alimento y por el espacio a los que refiere la interacción entre los especímenes (Barki *et al.*, 1997) cabe recordar que en este trabajo los experimentos con los acociles que la roja se llevaron a cabo de manera individual.

Villareal (2002) cita que *C. quadricarinatus* es capaz de presentar una tasa de crecimiento de 70 g en siete meses; esto es, 10 g/mes ó

0.33 g/día. En este estudio la tasa de crecimiento (TCA) de los acociles, en Mérida, Yucatán fueron 0.14 y 0.12 para las dietas A y D respectivamente lo que representó un valor tres veces inferior; así mismo los valores obtenidos de las dieta B (0.08) y C (0.06) resultaron cuatro y cinco veces menores respectivamente. En México, D.F., las diferencias fueron cinco veces inferiores para las dietas A (0.07) y D (0.06), y ocho veces menores para los grupos mantenidos con las dietas B (0.06) y C (0.06). Tales diferencias se deben probablemente a la composición de las distintas dietas experimentales así como a las condiciones de los sistemas de cultivo.

Hopkins (1992) menciona que, generalmente, los acuicultores expresan el crecimiento de los organismos en cultivo tomando en cuenta sólo el peso en el momento de siembra y en el momento de cosecha sin considerar el periodo intermedio; por lo tanto, recomienda que se realice un análisis de regresión con el fin de incluir los valores de crecimiento intermedios. El autor, también refiere que los modelos de crecimiento, lineal, exponencial o asintótico son apropiados para el análisis de crecimiento absoluto e instantáneo, respectivamente.

En este trabajo, los datos de crecimiento (g) de los acociles alimentados con las diferentes dietas se graficaron vs. tiempo (días). Estos modelos en general fueron altamente significativos en ambas localidades. Con los datos así obtenidos se calcularon los diversos indicadores de crecimiento, los cuales se emplean con frecuencia en acuicultura: tasas de crecimiento absoluta (TCA), relativa (TCR) y específica (TCE; en inglés: SGR).

Con respecto al crecimiento absoluto (TCA) en este estudio se cumplieron los requisitos indicados por Hopkins (1992) en lo referente a que tanto el lapso experimental como el peso inicial de los acociles en cada localidad, fue el mismo en las diversas condiciones evaluadas.

Los valores de la tasa específica de crecimiento SRG calculados para cada uno de los grupos mantenidos con las raciones experimentales tanto en Mérida como México, D.F. fueron, en promedio 57% menores que los obtenidos para la misma especie por Rodríguez-Canto *et al.* (2002).

En los acociles quela roja, las dietas con almidón solamente (A) y con la mezcla que contenía fibra en menor proporción que almidón (D) tuvieron el mayor aumento en peso, tanto en Mérida como en México. Esto indicaría que a pesar del tamaño inferior de los acociles de México, D.F., los especímenes poseen una capacidad enzimática para procesar el almidón, semejante a los acociles de Mérida. Fenucci (1981) y Brunson *et al.* (1997) encontraron que dicha capacidad enzimática se encuentra asociada al tamaño del organismo.

Las tasas de crecimiento más bajas se determinaron en los grupos de organismos alimentados con las dietas que contenían sólo fibra o mayor cantidad de fibra (B y C), lo cual se explicaría debido a que la fibra puede llegar a constituir una barrera para la asimilación de los nutrimentos contenidos en el alimento ingerido (Anderson *et al.*, 1984; Potty, 1996). Los resultados son coincidentes con la conclusión de Pavasovic *et al.* (2005) que la incorporación de fibra en la dieta en cantidades mayores al 12% afecta negativamente el crecimiento de *Cherax quadricarinatus*.

Ackefors *et al.* (1992) encontraron en *Astacus astacus* que el alimento que contenía 31% de proteína, 13% de lípidos y 16.6% de carbohidratos provocó un efecto negativo sobre el crecimiento de este acocil. Cabe destacar que los acociles quela roja, en este trabajo, crecieron al alimentarse con dietas experimentales que contenían proporciones semejantes de proteínas y de lípidos y de 43-44% de carbohidratos totales (almidón y fibra). Estos autores también observaron que al aumentar el contenido de almidón a 25.8%, obtuvieron

una tasa de crecimiento mayor dependiente de la edad de los organismos. Este hallazgo sería coincidente con lo observado al comparar el crecimiento de los acociles quela roja en Mérida, Yucatán y México, D.F.

Los resultados de crecimiento del acocil quela roja también coinciden con los obtenidos en juveniles y en juveniles tempranos (1.08 ± 0.34 g) de *C. quadricarinatus* en otros trabajos (Ponce-Palafox *et al.*, 1998; Cortés-Jacinto, 2002) y en *Procambarus llamasii* (Rodríguez-Serna *et al.*, 2000).

De igual manera, los resultados obtenidos en el acocil quela roja, concuerdan con los de *Penaeus monodon* (Shiau y Peng, 1992); los organismos alimentados con proteína y almidón tuvieron ganancias en peso significativos.

Villarreal (1991) determinó que el valor de la ingestión para *C. tenuimanus* fue del 2.1% de la biomasa total de los organismos con valores de peso inicial menores a los acociles utilizados en México, D.F. En el presente estudio los valores calculados fueron mayores en todos los grupos alimentados con las diferentes dietas, 5 a 12% en México, D.F. y 7 a 11% en Mérida, Yucatán con respecto a la biomasa total de los acociles quela roja.

Se conoce que el valor nutritivo de los alimentos, no depende en forma exclusiva del contenido de los ingredientes de las dietas proporcionadas, sino que también depende de la capacidad del organismo para digerirlos y absorberlos (Lovett y Folder, 1990). En este sentido, el coeficiente de digestibilidad aparente o eficiencia de asimilación permite cuantificar la incorporación de los nutrimentos (Guillaume *et al.*, 2004). Los valores obtenidos en el presente estudio coinciden con los de Reigh *et al.* (1990) en *Procambarus clarkii* ya que al igual que este organismo el acocil *C. quadricarinatus* es capaz de

digerir y asimilar alimentos con cantidades importantes de almidón.

En referencia a lo anterior, se ha mencionado que la capacidad de digestión de los carbohidratos es el resultado de la adaptación enzimática en el tubo digestivo, en organismos alimentados por periodos largos con dietas que contienen almidón (Fenucci, 1981; Brunson *et al.*, 1997) lo cuál sustentaría los resultados del presente estudio. Cabe recordar que la actividad enzimática digestiva puede variar con el estado de desarrollo del acocil (Crawford *et al.*, 2005).

Frecuentemente la producción de heces se relaciona, entre otros, con el contenido protéico de la dieta (Barón-Sevilla, 1994). Villarreal (1991) menciona que en *Cherax tenuimanus* las heces producidas fueron equivalentes al 7% del alimento ingerido. En este trabajo la producción de heces fue mayor 4 y 6 veces, dependiendo de la localidad, (México y Mérida, respectivamente).

Villarreal (1991) trabajando con *C. quadricarinatus* encontró que la eficiencia de asimilación de 85%, era consistente con los niveles determinados para omnívoros ya que la mezcla de componentes de origen vegetal y animal mejora el desempeño de dichas especies. La eficiencia de asimilación determinada tanto en Mérida (59%) como en México (72%), en el presente estudio, fueron menores; esta discrepancia se podría asociar a la edad de los organismos.

La tasa de excreción de productos nitrogenados permite medir la eficiencia de asimilación del alimento así como el efecto de ahorro protéico de los carbohidratos (Capuzzo, 1983). Sharma (1966) encontró que *C. tenuimanus* excreta niveles de NH_3 , menores de $50 \mu\text{g h}^{-1}\text{g}^{-1}$. En comparación, los acociles que la roja en este trabajo excretaron en promedio $41 \mu\text{g h}^{-1}\text{g}^{-1}$ en Mérida y $20 \mu\text{g h}^{-1}\text{g}^{-1}$ en México. Cabe señalar que en Mérida el valor de la tasa fue más alto cuando se les proporcionó

la dieta que contenía fibra solamente (B), en México los valores fueron altos cuando se proporcionaron las dietas B y D.

En ambas localidades los acociles alimentados con la dieta A que contenía sólo almidón, produjeron una tasa de excreción mínima. Estos resultados aunados a la combinación del porcentaje de lípidos (12%) para todas las dietas con los valores del contenido de carbohidratos totales (43-44%), habrían permitido un ahorro de energía proveniente de las proteínas ya que los organismos no utilizarían el contenido de estas como sustrato energético, lo que se refiere como efecto ahorrador de las proteínas (Capuzzo, 1983; Hubard *et al.*, 1986; Ackeford *et al.*, 1992).

Los valores de la tasa de consumo de oxígeno, del acocil quela roja, medido con actividad espontánea de los organismos (metabolismo de rutina) fue menor en los grupos mantenidos en Mérida que en México, lo que se puede atribuir a la diferencia en peso de los organismos. Con respecto a la energía ingerida por los acociles, la tasa respiratoria representó el 15.31% en Mérida y el 38% en México. Esto valores son mayores a los resultados obtenidos en *P. clarkii* cuyos valores fueron 5 a 6% de la tasa de ingestión en animales mantenidos con 25-30% de proteínas en la dieta (Barón-Sevilla, 1994).

El incremento calórico aparente (ICA) o efecto dinámico específico (EDE) es una medida de los procesos celulares posteriores a la asimilación del alimento. Se engloban en estos procesos tanto la síntesis de proteínas, lípidos y carbohidratos como la formación de los productos de excreción; se denomina aparente porque ambos tipos de procesos son inseparables de la energía invertida en la ingestión del alimento (Beamish y Trippel, 1990).

Se conoce que los valores de este índice están mayormente asociados al metabolismo de las proteínas y aminoácidos (Beamish y Trippel 1990). En este trabajo no se encontraron diferencias en la

producción de calor debidas a la inclusión de los diferentes tipos de carbohidratos (almidón y fibra) de las dietas. Los valores fueron similares tanto en México como en Mérida.

Capuzzo (1983) refiere que las pérdidas de energía asociadas a la muda constituyen una pequeña parte del balance energético de los crustáceos. Sanguanruang (1988) observó que en *Procambarus spp* el porcentaje de energía perdida en el proceso de ecdisis es aproximadamente 10% de la energía contenida en el alimento ingerido. En contraste, en este trabajo, la energía perdida a través de la muda fue en promedio 2% en los grupos mantenidos en Mérida y 5% en los de México. Esto se podría asociar a la diferencia de tamaño de los organismos.

En el acocil australiano, *Cherax tenuimanus*, alimentado con una dieta con 33% de proteína, Villarreal (1998) logró obtener eficiencias de crecimiento bruta (K_1) de 42% y neta (K_2) de 50%. En comparación, en este trabajo los valores de ambos índices fueron similares en Mérida. En contraste los valores obtenidos de K_1 y K_2 en México, fueron 14% menores que los valores mencionados para *C. tenuimanus*.

Una vez que se midieron las diferentes tasas fisiológicas que se integran en la ecuación del balance energético (Klekowsky y Duncan, 1975; Logan y Epifanio, 1978) se calculó la energía potencial de crecimiento, campo de crecimiento o producción (P). Villarreal (1991) midió el balance energético de *Cherax destructor* y *C. quadricarinatus*; menciona que los juveniles de estas especies son capaces de canalizar hasta 50 a 55% de la energía contenida en el alimento ingerido hacia producción. En comparación, en este trabajo en *C. quadricarinatus* la P en promedio, fue similar en los grupos mantenidos en Mérida y 22% menor en los grupos de México. En general, los mayores valores de campo de crecimiento se asocian al efecto ahorrador de proteínas generado por altos niveles de carbohidratos en el alimento proporciona-

do a los acociles (Kanazawa, 1984, New, 1990). Cabe recordar que los carbohidratos simples contribuyen a las reservas de glucógeno en tanto que los almidones satisfacen los requerimientos inmediatos de energía, induciendo así el efecto ahorrador de las proteínas (Capuzzo, 1983). Los acociles quela roja fueron mantenidos con dietas cuyo contenido de carbohidratos se relacionó con los otros nutrimentos en razones de 0.27 (L/C), 0.69 (P/C) y 0.66 (P/E).

En *Procambarus clarkii* los valores más altos del campo de crecimiento se obtuvieron con raciones que contenían 25-30% de proteínas, 9-10% de lípidos y 36-40% de carbohidratos (Barón-Sevilla, 1994). En el acocil quela roja la proporción de los principales nutrimentos de la dieta fueron semejantes, incluyendo los carbohidratos totales.

Shiau y Peng (1992) utilizaron también otros carbohidratos en las dietas suministradas a *Penaeus monodon* como dextrina o glucosa. Sólo con aquellas dietas que contenían almidón obtuvieron una ganancia en peso significativamente mayor. La fracción de energía contenida en el alimento ingerido por los acociles quela roja canalizada a campo de crecimiento (P) fue comparable con los resultados referidos por estos autores en lo relativo al almidón; cuando se proporcionó sólo almidón (Dieta A) y en la mezcla con más almidón que fibra (Dieta D) el campo de crecimiento fue mayor.

En este trabajo los resultados de la energía potencial de crecimiento de *C. quadricarinatus* concuerdan con la ganancia en peso húmedo de los organismos. Los valores más altos se obtuvieron con las dietas A y D en ambas localidades. Estos resultados coinciden con los encontrados en *P. monodon* (Shiau y Peng, 1992), alimentados con dietas con alto contenido de almidón.

CONCLUSIONES

- Las tasas de crecimiento más altas se obtuvieron con las dietas A y D cuyo contenido de almidón fue 44 y 33% respectivamente.
- Los indicadores de crecimiento TCA, TCE y TCR ponen de manifiesto que la incorporación de almidón estimula la ganancia en peso de los acociles, la cuál fue mayor en Mérida, Yucatán, que en México, D.F.
- Los valores de la tasa de producción de heces presentó relación directa con el contenido de fibra en las dietas administradas.
- La energía potencial de crecimiento o campo de crecimiento (P) fue mayor en los acociles que recibieron las dietas A y D en ambas localidades.
- Los valores de K_1 y K_2 fueron más altos en los acociles que recibieron las dietas A y D tanto en Mérida como en México.
- Los valores del campo de crecimiento de *Cherax quadricarinatus* alimentados con las dietas A y D concordaron con la ganancia en peso húmedo de los organismos.
- Los valores del balance energético para los grupos alimentados con las dietas A y D en ambas localidades corroboran la hipótesis planteada, es decir, los acociles tienen la capacidad de digerir y asimilar dietas con alto contenido de carbohidratos.
- La edad influyó tanto el crecimiento en peso como el campo de crecimiento de los organismos.

RECOMENDACIONES

- La aplicación del modelo propuesto permitirá establecer el momento de la cosecha de los organismos así como las modificaciones de las características de la dieta suministrada.
- La integración de las tasas fisiológicas en el balance energético permite establecer los periodos de máximo aprovechamiento de las dietas administradas.
- La inclusión de carbohidratos en la dieta (tipo y porcentaje) acorde con la etapa de desarrollo de los organismos en cultivo favorece el efecto ahorrador de las proteínas, lo que tiene impacto en los costos de producción del cultivo.
- Altos porcentajes de carbohidratos se pueden incorporar en la dieta de *Cherax quadricarinatus* sin perjudicar su crecimiento.

LITERATURA CITADA

- Abrahamsson, S.A.A. 1966. Dynamics of an isolated population of the crayfish *Astacus astacus* Linné. *Oikos*, 17: 96-107.
- Ackefors, H., Castell, J.D., Boston, L.D., Raty, P. and Svensson, M. 1992. Standard experimental diets for crustacean nutrition research. II. Growth and survival of juvenile crayfish *Astacuas astacus* (Linné) fed diets containing various amounts of protein, carbohydrate and lipid. *Aquaculture*, 104: 341-356.
- Anderson, J., Jackson, A.J., Matty, A.J. and Capper, B.S. 1984. Effects of dietary carbohydrate and fibre on the tilapia *Oreochromis niloticus* (Linn). *Aquaculture*, 37: 303-314.
- Anguas-Velez, B.H., Civera-Cerecedo, R., Cadena-Roa, M. Guillaume, J. y Martinez-Diaz, S.F. 2000. Studies on the nutrition of spotted sand *Paralabrax maculatofasciatus*: Effects of the dietary protein level on growth and protein utilization in juveniles fed semipurified diets. *Journal of the World Aquaculture Society*. Vol. 31 (4): 580-591.
- APHA, 1989. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 17th edition. American Public Health association, Washington, DC. USA.
- Balon, E.K. 1985. Early life histories of fishes. Dr. W. Junk Publishers. Dordrecht. Netherland. pp 275.
- Barki, M.A., Levi, T., Shrem, A. and Kurplus, I. 1997. Ration and spatial distribution of feed affect survival, growth and competition in juvenile red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, reared in the laboratory. *Aquaculture*, 148(2-3):169-177.
- Barón-Sevilla, B., Díaz, H.F. and Buckle, R.L.F. 1994. Energy budget for the red swamp crawfish *Procambarus clarkii* (Crustacea, Cambaridae). *Rivista Italiana di Acquacoltura*, 29: 103-107.
- Bautista, M.N. 1986. The response of *Penaeus monodon* juveniles to varying protein/energy ratios in test diets. *Aquaculture*, 53: 229-242.
- Beamish, F.W.H. and Trippel, E.A. 1990. Heat increment a static or dynamic dimension in bioenergetic models?. *Transactions of the American Fisheries Society* 119: 649-661.

- Bliss, D.E., 1982. The Biology of Crustacea. Vol. 1. Systematics, the fossil record and biogeography. Academic Press. 319 pp.
- Boyd, C.E., Rouse, D.B., Salame, M.J., Tysoe, A.J., Díaz, E. and Moura, J.G. 1996. *Manual de la Técnica de Cultivo de la Langosta de Agua Dulce "Red Claw" Adaptada Al Ecuador*. INACUA S.A., Investigación y acuicultura. Guayaquil, Ecuador. 100pp.
- Brethes, J.C., B. Parent and Pellerin, J. 1994. Enzymatic activity as an index of trophic resource utilization by the snow crab *Chionoecetes opilio* (O. Fabricius). *Journal of Crustacean Biology*, 14: 220-225.
- Brody, S. 1945. *Bioenergetics and Growth*. Reinhold, New York. 1023 pp.
- Brown, P.B. 1995. Physiological adaptations in the gastrointestinal tract of crayfish. *American Zoology*. 35: 20-27.
- Brummett, R., E. and Alon, N.C. 1994. Polyculture of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Australian red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in earthen ponds. *Aquaculture* 122: 47-54.
- Brunson, J.F., Romaine, R.P., and Reigh, R.C. 1997. Apparent digestibility of selected ingredients in diets for white shrimp *Penaeus setiferus* L. *Aquaculture Nutrition* 3: 9-16.
- Calow, P. 1977. Conversion efficiencies in heterotrophic organisms. *Biological Reviews*, 52: 385-409.
- Capuzzo, M.J. 1983. Crustacean bioenergetics: The role of environmental variables and dietary levels of macronutrients on energetic efficiencies, p. 71-86. In: Prude, G.D.; Langdon C.J. and Conklin, D.E. (Eds.) Proceedings in the Second International Conference on Aquaculture Nutrition: *Biochemical and Physiological Approaches to Shellfish Nutrition*. Lewes/Rehoboth Beach, Delaware. Louisiana State University. Division of Continuing Education. Baton Rouge, Louisiana.
- Chamier, A.C. 1991. Cellulose digestion and metabolism in the freshwater amphipod *Gammarus pseudolimnaeus* Bousfield. *Freshwater Biology*, 25: 33-40.
- Cho C.Y. and Bureau, D.P. 2002. Bioenergética en la formulación de dietas y estándares de alimentación para la acuicultura del salmón:

- Principios, Métodos y Aplicaciones. *Avances en Nutrición Acuícola*, 3: 33-64.
- Clifford, H.C. and Brick, R.W. 1979. A physiological approach to the study of growth and bioenergetics in the freshwater shrimp *Macrobrachium rosenbergii*. *Proceedings of the World Mariculture Society*, 10: 710-719.
- Colvin, P.M. 1976. Nutritional studies on penaeid prawn: Protein requirements in compounded diets for juvenile *Penaeus indicus*. *Aquaculture*, 7: 315-326.
- D'Abramo, L.R. and Robinson, E.H. 1989. Nutrition of crayfish. Reviews in *Aquatic Science*. 1: 711-728.
- D'Abramo, L.R. and Lovell, R.T. 1991. Aquaculture Research Needs for the year 2000: Fish and crustacean nutrition. *World Aquaculture*, 22 : 57-62.
- D'Abramo, L.R. and Sheen, S.S. 1994. Nutritional requirements, feed formulation and feeding practises for intensive culture of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Rev. Fish. Science* 2: 1-21.
- D'Abramo, L.R. and New, M.B. 2000. Freshwater Prat Culture, pp. 203-216. In: New, M.B. and W.V. Cotroni, (Eds.) *The Farming of Macrobrachium rosenbergii*. Blackwell Science Ltd., Oxford.
- D'Abramo, L.R. 2002. Challenges in developing successful formulated feed culture of larval fish and crustaceans. *Avances en Nutrición Acuícola VI*. Memorias del Sexto Simposium Internacional de Nutrición Acuícola Cancún, Quintana Roo, México.
- Dall, W., Hill, B.J., Rothlisberg, P.C. and Staples, D.J. 1990. The biology of Penaeidae. *Advanced Marine Biology*, 27: 1-489.
- Dall, W. 1992. Feeding, digestion and assimilation in Penaeidae, pp. 57-63. In: Allan, G.L., Dall, W. (Eds.) *Proceedings of the Aquaculture Nutrition Workshop*. NSW Fisheries, Salamander Bay, Australia.
- Dame, R.F. and Vernberg, F.J. 1978. The influence of constant and cyclic acclimation temperature on the metabolic rate of *Panopeus herbstii* and *Uca pugilator*. *Biological Bulletin*, 154:188-197.

- Davis, A.D. and Robinson, F.H. 1986. Estimation of the dietary lipid requirement level of the white crayfish, *Procambarus acutus acutus*, *Journal of the World Aquaculture Society*, 17: 37-43.
- Deshimaru, O., Kuroki, K., and Yone, Y. 1979. The composition and level of dietary lipid appropriate for growth of prawn. *Bulletin. Japan Society Science. Fisheries*, 45:591-594.
- Díaz Herrera, F., Juárez Castro, G., Pérez Cruz, M.E. and Bückle Ramírez, L.F.. 1992. Energy budget for postlarvae and juveniles of the Malasian prawn *Macrobrachium rosenbergii* De Man. *Ciencias Marinas*, 18: 19-32.
- Díaz F. G., Escalante, A. D. Re y Sierra, E. 2006. Fisiología energética de *Cherax quadricarinatus* (von Martens) alimentado con dos dietas, expuesto a un régimen constante y fluctuante de temperatura. *Hidrobiología* 16 (1): 35-44.
- Diéguez-Uribeondo, J. 2000. *El Cangrejo de Río: Distribución, Patología, Inmunología y Ecología*. Departamento de Patología Animal. Facultad de Veterinaria. Universidad de Zaragoza, 21pp.
- Elliott S.M. and Davison, W. 1975. Energy equivalents of oxygen consumption in animal energetics. *Oecologia*, 19: 195-201.
- FAO. 2004. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Servicio de Información, Datos y Estadística de Pesca. Departamento de Pesca, Roma, FAO. 168 pp.
- Fenucci, J.L. 1981. Studies on the nutrition of marine shrimp of the genus *Penaeus*. PhD Dissertation, University of Houston, Houston, Texas. 185 pp.
- Figueiredo, M.S.R.B., and Anderson, A.J. 2003. Ontogenetic changes in digestive proteases and carbohydrases from the Australian freshwater crayfish, redclaw *Cherax quadricarinatus* (Crustacea, Decapoda, Parastacidae). *Aquaculture Research*, 34:1235-1239.
- García-Guerrero M, H. Villarreal-Colmenares and Rascotta, I.S. 2003. Effect of temperature on lipids, proteins and carbohydrates levels during development from egg extrusion to juvenile stage of *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae). *Comp. Biochemical Physiology a Molecular Integr. Physiology*, 135(1): 147-154.

- González-Peña, M.C., Anderson, A.J., Smith, D.M., and Moreira, G.S. 2002. Effect of dietary cellulose on digestion in the prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture*, 211: 291-303.
- Gu, H., Mather P. B., and Capra, M. F. 1995. Juvenile growth performance among stocks and families of red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens). *Aquaculture* 134: 29-36.
- Guillaume, J. 1997. Protein and amino acids, pp 26-50. *In*: D'Abramo, L.R., Conklin D.E. and Akiyama, D.M. (Eds.). *Crustacean Nutrition. Advances in World Aquaculture. Vol. 6*. The World Aquaculture Society. Baton Rouge, Louisiana, USA, 26-41 pp.
- Guillaume J., Kaushik S., Bergt P. and Métailler, R. 2004. *Nutrición y Alimentación de Peces y Crustáceos*. Ediciones Mundi-Prensa. España. 475 pp.
- Gutierrez-Yurrita, P.J. and Montes, C. 2001. Bioenergetics of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 130A: 29-38.
- Harpaz, S., Rize, M., Arad, S., and Gur, N. 1998. The effects of three carotenoid sources on growth and pigmentation of juvenile freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Aquaculture Nutrition* 4: 201-208.
- Hart, H., Hart, D.J., and Craine, L.E. 1995. Organic chemistry a short course, 9th edition. Houghton Mifflin Company, Boston. pp 454-484.
- Hernández, M.P., Olvera, M.A., and Rouse, D.B. 2000. Optimum protein/lipid ratios for hatchling and juvenile redclaw *Cherax quadricarinatus*. 13th Biennial Symposium of the International Association of Astacology, 6-12 August 2000, Perth, Australia, pp. 33.
- Hernández-Vergara, M.P., Rouse, D.B., Olvera-Novoa, M.A., and Allen-Davis, D. 2003. Effects of dietary lipid level and source on growth and proximate composition of juvenile redclaw (*Cherax quadricarinatus*) reared under semi-intensive culture conditions. *Aquaculture*, 223: 107-115.
- Hobbs Jr, H.H. 1988. Crayfish distribution, adaptive radiation and evolution, pp. 167-212. *In*: Holdich, D.M. and R.S. Lowery, (Eds.) *Freshwater Crayfish: Biology, Management and Exploitation*, Croom Helm, London.

- Hobbs Jr, H.H. 1991. Decapoda, pp. 823-874. *In*: Throp H. and A.P. Covich (Eds.) *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. Academic Press. New York.
- Hopkins, K.D. 1992. Reporting fish growth: A review of the basics. *Journal of the World Aquaculture Society*, 23: 173-179.
- Horton, H. and Hobbs Jr, H.H. 1988. Crayfish distribution adaptive radiation and evolution, pp 52-82. *In*: D.M. Holdich and R.S. Lowery.(Eds.) *Freshwater Crayfish. Biology, Management and exploitation*. Portland, Oregon.
- Huner, J.V., Rrown, E.E. and Brown, E.E. 1985. *Crustacean and Mollusk Aquaculture in the United State*. Van Nostrand Reinhold, New York. pp 4-56.
- Jobling, M. 1983. Towards an explanation of specific dynamic action (SDA). *Journal of Fish Biology*, 23: 549-555.
- Jobling, M. 1994. *Fish Bioenergetics*. Chapman and Hall, London. 309 pp.
- Jones, C.M. 1988. Aquaculture potential of *Cherax quadricarinatus*: research objectives and preliminary results, pp. 73-78. *In*: L.H. and D. O'Sullivan (Eds.) *Proceedings of the 1st Australian Shellfish Aquaculture Conference*. Evans Perth, Australia.
- Jones, C.M. 1990. *The Biology and Aquaculture Potential of the Tropical Freshwater Crayfish Cherax quadricarinatus*. Queensland Department of Primary Industries Information Series QI90028. 109 pp.
- Jones, C.M. 1995a. Evaluation of six diets feed to redclaw *Cherax quadricarinatus* (Martens), held in pond enclosure. *Freshwater crayfish*, 10: 21-32.
- Jones, C.M. 1995b. Production of juvenile redclaw crayfish. *Cherax quadricarinatus*. (Von Martens) (Decapoda, parastacidae) II- Juvenile nutrition and habitat. *Aquaculture*, 138: 239-245.
- Jones, C.M. 1995c. Production of juvenile redclaw crayfish. *Cherax quadricarinatus*. (Von Martens) (Decapoda, parastacidae) III- managed pond production trials. *Aquaculture*, 138: 247-255.
- Kanazawa, A. 1984. Nutrition of penaeid prawns and shrimps, pp 123-130. *In*: Y. Taki, J.H. Primavera and J.A. Llobrera (Eds.) *Proceeding*.

- 1st International Conference Culture of Penaeid Prawns/Shrimps, Aquaculture Dept., SEAFDEC, Iloilo City, Philippines,
- King, R.C. 1994. Growth and survival of red claw crayfish hatchlings (*Cherax quadricarinatus* von Martens) in relation to temperature with comments on the relative suitability of *Cherax quadricarinatus* and *Cherax destructor* for culture in Queensland. *Aquaculture*, 122: 75-80.
- Klekowski, R.Z. and Duncan, A. 1975. Physiological approach to ecological energetics, pp. 15-64. In: Grodzinski, Z.R. and A. Duncan. (Eds.) *Methods for Ecological Bioenergetics*. IBP. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Kondos, A. 1990. Supplementary feed essential for crayfish. *Australian Fisheries. Aquaculture special: Redclaw*, 49: 28-30.
- Kristensen, J.H. 1972. Carbohydrases of some marine invertebrates with notes on their food and on the natural occurrence of the carbohydrates studied. *Marine Biology*, 14: 130-142.
- Lee, P.G., Blake, N.J., and Rodrick, G.E. 1980. A quantitative analysis of digestive enzymes for the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Proceeding World Mariculture Society*, 11: 392-402.
- Lee, D. O'C. and Wickins, J.F. 1992. *Crustacean Farming*. John Wile and Sons Inc., New York, 392 p.
- Logan, D.T. and Epifanio, C.E.. 1978. A laboratory energy balance for the larvae and juveniles of the American lobsters *Homarus americanus*. *Mar. Biol.* 47: 381-389.
- Lovett D.L. and Folder, D.L. 1990. Ontogenetic changes in enzyme distribution and midgut function in developmental stages of *Penaeus setiferus* (Crustacea, Decapoda, Penaeidae). *Biological Bulletin* 178: 160-174.
- Loya-Javellana, G.N., Fielder, D.R. and Thorne, M.J. 1993. Food choice by free living stages of the tropical crayfish *Cherax quadricarinatus* (Parastacidae:Decapoda). *Aquaculture*, 29: 261-278.
- Lucas, A. 1996. *Bioenergetics of Aquatics Animals*. Taylor and Francis, London. 169 pp.
- Maquire, G.B. and Hume, I.D. 1982. A study of the nutritional requirement of school prawns *Metapenaeus maclearyi* (Hanswell) in

- some Australian backish water farming ponds. *Aquaculture*, 29: 261-278.
- Masser, M.P. and Rouse, D.B. 1997. *Australian Red Claw Crayfish. Southern Regional Aquaculture Center*. pp. 1-8.
- Meade, M.E. and Watts, S.A. 1995. Weight gain and survival of juvenile Australian crayfish *Cherax quadricarinatus* fed formulated feeds. *Journal of the World Aquaculture Society*, 26: 469-474.
- New, M.B. 1987. *Feed and Feeding of Fish and Shrimp. A Manual on the Preparation of Compound Feed for Shrimp and Fish in Aquaculture*. Rome. 275 pp.
- New, M.B. 1990. Freshwater prawn culture: A review. *Aquaculture*, 88: 99-143.
- Noborikawa, D.K. 1978. The determination of cellulase in the giant Malaysian prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Proceeding Natural Shellfish Association*, 69: 205 pp.
- Olvera, N. M. A. 1994. *Utilización de Proteínas Vegetales en la Alimentación de Crías de Tilapia, Oreochromis mossambicus, O. niloticus y Tilapia rendalii*. Tesis de Doctorado, CINVESTAV-Unidad Mérida. pp. 198.
- Pavasovic, A., N. A., Richardson, P. B., Mather and Anderson, A. J. 2005. Influence of insoluble dietary cellulose on digestive enzyme activity, feed digestibility and survival in the red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens). *Aquaculture Research*, 37: 25-32.
- Peres H. and Oliva-Teles, A. 2002. Utilization of raw and gelatinized starch by European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture*, 205: 287-299.
- Phillips, A.M., Jr. Livingston, D.L., and Poston, H.A. 1966. The effect of changes in protein quality, calorie sources and levels upon the growth and chemical composition of brook trout. Cortland Hatchery Report 34. *Fisheries Res. Bulletin* 29, pp. 6-7. New York Conservation Department, Albany.
- Ponce-Palafox, J.T., Arredondo-Figueroa J.L. y Moreno-Rodríguez, M. A. 1998. The effects of varying dietary protein levels on growth and

- survival of juvenile and pre-adult redclaw (*Cherax quadricarinatus*). *Crustacean Issues*, 12: 715-719.
- Potty, V. H. 1996. Physio-chemical aspects, physiological functions, nutritional importance and technological significance of dietary fibres- a critical appraisal. *Journal Food Science Technology*, 33: 1-18.
- Rankin, T. A. 2000. Status of the NSW commercial yabby fishery. *NSW Fishery Resource Assessment Series No. 9*. 34 pp.
- Reigh, R.C., Braden, S.L., and Craig, R.J. 1990. Apparent digestibility coefficients for common feedstuffs in formulated diets for red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*. *Aquaculture*, 84: 321-334.
- Rodríguez-Canto A., Arredondo-Figueroa, J.L., Ponce-Palafox, J.T. and Rouse, D.B. 2002. Growth Characteristics of the Australian Redclaw Crayfish, *Cherax quadricarinatus*, Cultured in an Indoor Recirculating System. *Journal of Applied Aquaculture*, 12: 59-64.
- Rodríguez-Serna, M., Carmona-Osalde, C., Olvera-Novoa, M. A. and Arredondo-Figueroa, J.L., 2000. Fecundity, egg development and growth under two densities of juvenile crayfish *Procambarus (Austrocambarus) llamasii* (Villalobos, 1955) under laboratory conditions. *Aquaculture Research*, 31(2): 173-180.
- Sardá, F. 1987. La reproducción de los crustáceos. Fisiología: Factores de la regulación de la reproducción. Potencial reproductivo. En: *Reproducción en Acuicultura* CAICYT. Barcelona, España. pp. 251-295.
- Sanguanruang, M. 1988. The bioenergetics of red swamp crawfish (*Procambarus clarkii*) and the white river crawfish (*Procambarus acutus acutus*). Doctoral thesis. Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana, U.S.A.
- Sharma, M.I. 1966. Studies on the changes in the pattern of nitrogenous excretion of *Orconectes rusticus* under osmotic stress. *Journal of Comparative Biochemistry and Physiology*, 19A: 681-690.
- Schreck, C.B. and Li, H.W. 1991. Performance capacity of fish: stress and water quality, pp. 21-30. In: D.E. Brune and J.R. Tomasso (Eds.) *Aquaculture and Water Quality*. The World Aquaculture Society. Louisiana State University, Baton Rouge, La.

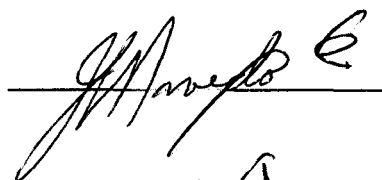
- SEPESCA, 1994. *Manual Científico y Tecnológico para el Cultivo de la Langosta de Agua Dulce (Cherax quadricarinatus)*, México. Reporte técnico, Convenio (Secretaria de Pesca/UAM-I, 90 pp.
- Shiau, S.-Y., Lin, S.-F., and Lu, L.J. 1991. Effects of Different Types of Wheat Flour in Feed for Grass Prawn *Penaeus monodon*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57: 705-710.
- Shiau, S.-Y., and Peng, C.Y. 1992. Utilization of different carbohydrates at different dietary protein levels in grass prawn, *Penaeus monodon*, reared in seawater. *Aquaculture*, 101: 241-250.
- Sokol, A. 1988. The Australian yabbi, pp. 167-212. *In*: Holdich, D.M. and Lowery, R.S. (Eds.) *Freshwater Crayfish: Biology, Management and Exploitation*. Croom Helm, London.
- Venkataramiah, A., Lakahmi, G.J. and Gunter, G. 1975. Effect of protein level and vegetable matter on the growth and food conversion efficiency of brown shrimp. *Aquaculture*, 6: 115-125.
- Verhoef, G.D. and Austin, C.M. 1998. A Comparison of natural and artificial diets for juveniles of the Australian freshwater crayfish, *Cherax destructor*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 29: 243-248.
- Villarreal-Colmenares, H. 1991. A partial energy budget for the Australian crayfish *Cherax tenuimanus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 22: 252-259.
- Villarreal-Colmenares, H. 1998. Evaluación del potencial de cultivo de la langosta de agua dulce *Cherax tenuimanus* en función de su eficiencia bioenergética. *Avances en Nutrición Acuicola*, 3: 65-80.
- Villarreal, H and Peláez, J. 1999. *Nutrición y Alimentación de la Langosta*. Memorias del Curso Teórico-Práctico de Cultivo de la langosta en México. pp. 1-21.
- Webster, C.D., Goodgame-Tiu, L.S., Tidwell, J.H. and Rouse, D.B. 1994. Evaluation of practical feed formulations with different protein levels for juvenile redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*). *Transactions of the Kentucky Academy of Sciences*, 55: 108-112.

- Webster, C.D., and Lim, C. 2002. Introduction to fish nutrition. *In*: Nutrient requirement and feeding of finfish for aquaculture. C.D. Webster, and Lim (Eds). CAB International, Wallingford. pp 1-27.
- Xue, X.M., Anderson, A.J., Richardson, N.A., Anderson A.J., Xue, G.P. and Mather, P.B. 1999. Characterization of cellulase activity in the digestive system of the redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*). *Aquaculture*, 180: 373-386.
- Yeh, H.S. and Rouse, D.B. 1994. Indoor spawning and egg development of the red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 25: 297-302.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall. New Jersey. 663 pp.

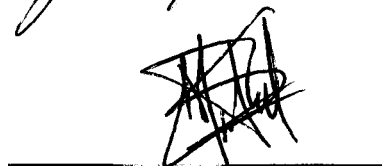
El día 9 de mayo de 2007, los miembros del jurado designado por la **Comisión del Doctorado en Ciencias Biológicas** de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Unidades Iztapalapa/Xochimilco aprobaron la tesis que presentó:

ANTONIO RODRÍGUEZ CANTO

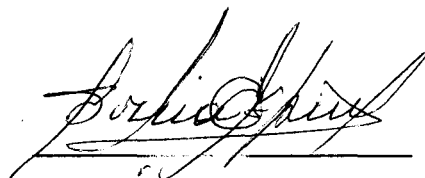
Dr. José Luis Arredondo Figueroa
Presidente



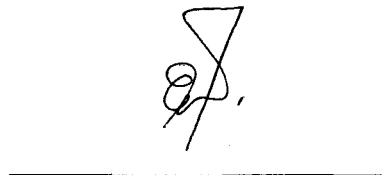
Dr. Miguel Rodríguez Serna
Secretario



Dra- Sonia Sofía Espina Aguilera
Vocal



Dr. Eugenio Díaz Iglesias
Vocal



Dr. José Miguel Betancourt Rule
Vocal

