

Contribución al conocimiento de los requerimientos nutricionales del langostino nativo (*Macrobrachium acanthurus*)

Contribution to the knowledge of nutrient requirements of the native freshwater prawn (*Macrobrachium acanthurus*)

Andy Villafuerte Mojica, Luis Héctor Hernández Hernández, Mario Alfredo Fernández Araiza y Omar Ángeles López

Laboratorio de Producción Acuícola, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Av. de los Barrios 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, 54090. México
e-mail: luish3@yahoo.com

Villafuerte Mojica A., L. H. Hernández Hernández, M. A. Fernández Araiza y O. Ángeles López. 2016. Contribución al conocimiento de los requerimientos nutricionales del langostino nativo (*Macrobrachium acanthurus*). *Hidrobiológica* 26 (1): 15-22.

RESUMEN

Para contribuir al conocimiento de los requerimientos nutricionales del langostino nativo *Macrobrachium acanthurus* (Wigmann, 1836) se realizaron dos pruebas de alimentación. En la primera se determinó el efecto de tres dietas con diferentes fuentes de proteína y lípidos (harinas y aceites de pescado y de krill, harina de soya) en el crecimiento de las hembras (peso inicial de 4.2 ± 0.5 g) y en el tamaño, contenido de proteína y de lípidos en los huevos producidos. Después de un periodo de 40 días de alimentación, la harina y el aceite de krill mostraron un efecto positivo en la maduración sexual de las hembras de *M. acanthurus*, así como en el contenido de proteína y lípidos de los huevos. En la segunda prueba se determinó el requerimiento de proteína para los juveniles (peso inicial de 3.0 ± 0.2 g). Los organismos se alimentaron con dietas semi-purificadas con inclusiones de 25, 30, 35, 40, 45 y 50% de proteína cruda por un periodo de 80 días. Mediante el análisis de línea de rompimiento y en términos de la ganancia en peso, el requerimiento mínimo de proteína se estimó en 37.8%. La información obtenida en este trabajo permitirá el desarrollo de formulaciones de dietas para el cultivo comercial de *M. acanthurus*.

Palabras clave: Calidad de huevo, crecimiento, langostino, proteína, requerimientos.

ABSTRACT

To contribute to the knowledge of the nutrient requirements of freshwater prawn *Macrobrachium acanthurus* (Wigmann, 1836), two feeding trials were performed. During the first, we determined the effect of three diets with different sources of protein and lipids (meals and oils from fish and krill, soybean meal) on the growth of females (initial weight of 4.2 ± 0.5 g), and on the size and protein and lipid contents of the eggs produced. After 40 days of feeding, the krill meal and oil showed a positive effect on the sexual maturation of the females, as well as on the protein and lipid content of the eggs. In the second trial, we determined the protein requirement for juveniles (initial weight 3.0 ± 0.2 g), by feeding semi-purified diets to the organisms with 25, 30, 35, 40, 45, and 50% crude protein for a period of 80 days. By means of a broken-line analysis and in terms of weight gain, the minimum requirement of protein was estimated to be 37.8%. The information obtained in this study will allow diet formulations for the commercial culture of *M. acanthurus* to be developed.

Key words: Egg quality, freshwater prawn, growth, protein, requirements

INTRODUCCIÓN

Los langostinos (familia Palaemonidae) son los crustáceos más diversos dentro del orden Decápoda, tienen una amplia distribución geográfica, batimétrica y están representados por numerosas especies en los sistemas marinos, estuarinos y dulceacuícolas (Hernández-Sandoval, 2008). En México, se tienen registros de 104 especies de Palaemoni-

dos, que se distribuyen en ambos litorales (de los Santos-Romero *et al.*, 2006). En muchas regiones costeras del país, estos organismos representan un importante recurso para las comunidades, no solo desde el punto de vista comercial, sino desde un punto de vista nutricional y de subsistencia. En la zona del Golfo de México (estados de Tabasco y Veracruz), el camarón prieto *Macrobrachium acanthurus* (Wigmann, 1836) es sujeto a pesquerías artesanales durante los meses de mayo a

agosto. Sin embargo, desde algunos años, los volúmenes de pesca se han reducido y se requiere un mayor esfuerzo de captura (Hernández-Guzmán *et al.*, 1999). Los datos disponibles que indican la progresiva desaparición de poblaciones de esta especie a lo largo de los ríos de la zona, principalmente en las cuencas del Papaloapan y del Coatzacoalcos (García-Guerrero *et al.*, 2013). Esto se debe a dos factores principales: la sobrepesca y la contaminación de los ríos (Granados, 1984). Los meses de captura para *M. acanthurus* coinciden con la época de migración y reproducción (Mejía-Ortiz *et al.*, 2010). De igual forma las industrias y poblaciones asentadas en la zona litoral, descargan aguas de desecho directamente en los ríos y que aumentan la concentración de materia orgánica, afectando directamente la calidad del agua y por ende, a las especies presentes (Hernández-Guzmán *et al.*, 1999).

Como una opción para la conservación de esta especie se ha propuesto desarrollar su cultivo, con el objetivo de disminuir la presión de pesca sobre las poblaciones silvestres y al mismo tiempo crear fuentes de empleo para los pescadores de la zona (Dos Santos *et al.*, 2007). Sin embargo, la información disponible para *M. acanthurus* se encuentra dispersa, fraccionada o cubre aspectos muy específicos (de los Santos-Romero *et al.*, 2006; García-Guerrero *et al.*, 2013), por lo que se requiere desarrollar el conocimiento en diferentes áreas antes de poder pasar a la etapa de cultivo. Considerando que el éxito de un cultivo esta directamente ligado a una alimentación adecuada (Casas-Sánchez *et al.*, 1995), la investigación encaminada a determinar los requerimientos nutricionales es básica para el desarrollo de dietas balanceadas que permitan un cultivo más eficiente y económico. La información sobre requerimientos nutricionales de los crustáceos es bien conocida en los camarones de la familia Penaeidae (Akiyama *et al.*, 1992; Teshima *et al.*, 2001; NRC, 2011). Se han reportado los requerimientos nutricionales en el langostino malayo *M. rosenbergii* (DeMan, 1879) (D'Abramo, 1998; D'Abramo & New, 2000; Teshima *et al.*, 2006), pero la información en langostinos de México es escasa: Espinosa-Chaurand *et al.* (2011) indican que adultos de *M. tenellum* (Smith, 1871) requieren de 29% de inclusión de proteína y recientemente, Benítez-Mandujano & Ponce-Palafox (2014) reportaron que adultos de *M. carcinus* (Linnaeus, 1785) mostraron un mejor crecimiento y retención de proteína cuando se alimentaron con inclusiones de proteína de 40 y 45%. En relación a *M. acanthurus*, sólo algunos reportes manejan aspectos relacionados: Albertoni *et al.* (2003) sugieren que *M. acanthurus* es un organismo omnívoro, después de revisar el contenido estomacal de 102 ejemplares provenientes de una laguna costera. Debido a lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo contribuir al conocimiento de los requerimientos nutricionales de *M. acanthurus* determinando las necesidades de proteína en juveniles y como un primer paso en adultos, el efecto de diferentes fuentes de proteína y lípidos en el crecimiento de hembras maduras y en el tamaño de los organismos y contenido de proteína y lípidos en los huevos producidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de organismos. Los individuos de *M. acanthurus* se colectaron durante los meses de septiembre y diciembre de 2012 en tres puntos del río Coatzacoalcos, en las cercanías al Ejido de Madamitas, Municipio de Jesús Carranza, Veracruz, ubicado en la coordenadas 17°25'46" de LN y 94°51'09" de LO. Los organismos se colectaron mediante trampas tipo nasa utilizando una mezcla de calamar, pollo y coco como carnada. Las trampas se colocaron aproximadamente a las

18:00 h y se revisaron el día siguiente a las 08:00 h. Los organismos capturados se mantuvieron en tanques de polipropileno de 500 L hasta que fueron transportados hacia el Laboratorio de Producción Acuícola de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Los juveniles se aclimataron en acuarios de 250 L, provistos con filtración, aeración contantes y termostatos ajustados a una temperatura en 30 ± 1 °C, así como refugios de PVC para disminuir la agresión entre los individuos. Las hembras colectadas se mantuvieron individualmente en acuarios de 20 L. El periodo de aclimatación para los organismos fue de 2 semanas y durante las cuales, se alimentaron con calamar y camarón frescos hasta antes del inicio de los respectivos experimentos.

Dietas experimentales. Las formulaciones para las hembras se muestra en la Tabla 1. Se consideró un contenido mínimo de proteína y lípidos de 40% y 10%, respectivamente y de acuerdo a lo reportado previamente para *M. rosenbergii* (D'Abramo & New, 2000). Como fuentes de proteína se utilizaron harinas de pescado (Vimifos S.A. de C.V., Sonora, México), krill (AkerBioMarine AS, Oslo, Noruega) y soya (Nutricasa, S.A. de C.V., México). Como fuente de lípidos se utilizaron aceites de pescado (Drotasa, S.A. de C.V., México, México), de krill (AkerBioMarine AS, Oslo, Noruega), ácidos grasos poliinsaturados (AminoOmega, Brightwell Aquatics, Pensilvania, E.U.), lecitina de soya (Abastecedora de Productos Naturales, S.A. de C.V., Mérida, México) y colesterol (94%,

Tabla 1. Formulaciones y composición proximal de las dietas para hembras de *Macrobrachium acanthurus*.

Ingredientes (g/kg)	Tratamientos		
	Control	Control+HUFAs	Krill
Harina de pescado	250	250	150
Harina de Krill	0	0	150
Harina de soya	250	250	200
Aceite de hígado de bacalao	50	40	15
Aceite de Krill	0	0	25
Lecitina de soya	50	50	50
Colesterol	10	10	10
HUFAs	0	10	10
Dextrina	50	50	50
Mezcla de vitaminas ¹	20	20	20
Mezcla de minerales ²	50	50	50
Gluten	80	80	80
a-celulosa	190	190	190
Composición proximal³			
Proteína cruda	42	43	44
Lípidos	11	11	13
Cenizas	8	8	9
Humedad (%)	5	6	5

¹Mezcla de vitaminas (mg/100g): ácido p-aminobenzoico, 15.08; biotina, 0.63; inositol, 632; niacina, 63.2; pantotenato de Ca, 94.8; piridoxina HCl, 18.96; riboflavina, 12.64; tiamina HCl, 6.32; menadionina, 6.34; β-caroteno, 15.17; calciferol, 1.90; cianocobalamina, 0.13; L-ascorbil-2-fosfato trisodio, 55.11; ácido fólico, 1.26; cloruro de colina, 984.

²Mezcla de minerales (mg/100 g): K₂HPO₄, 1169; Ca₃(PO₄)₂, 1591; MgSO₄•7H₂O, 1778.5; NaH₂PO₄•H₂O, 461.5.

³% en base seca

Sigma-Aldrich Co., Missouri E.U.). La dextrina (Sigma-Aldrich Co., Missouri E.U.) se utilizó como fuente de carbohidratos y el gluten (gluten de trigo, Sigma-Aldrich Co., Missouri E.U.) como aglutinante. La mezcla de vitaminas y de minerales se prepararon de acuerdo a lo reportado por Teshima *et al.* (2006). Para llevar la dieta a 100% se utilizó α -celulosa (Sigma-Aldrich Co., Missouri E.U.).

Para la prueba de la determinación de los requerimientos de proteína, se utilizó una dieta base con 35% de proteína, reportada por Teshima *et al.* (2006) como el óptimo para juveniles del langostino malayo, *M. rosenbergii*. A partir de este valor, se formularon 6 dietas semipurificadas con contenidos de proteína de 25, 30, 35, 40, 45 y 50% (Tabla 2). Las dietas se mantuvieron isoenergéticas (410 Kcal/100g de dieta) modificando la inclusión de una mezcla de carbohidratos. Como fuente de proteína se utilizó caseína en polvo (95% proteína cruda, Hegard de México, México) y como carbohidratos una mezcla de dextrina, almidón, glucosa y sacarosa (2:3:7:13). Los demás ingredientes utilizados fueron similares a los mencionados previamente. Todas las dietas se prepararon mezclando los ingredientes en polvo en un batidora para cocina (Kitchen Aid, modelo KSM150PSMC) por 20 minutos. Posteriormente se agregaron los aceites y la mezcla se homogenizó de nuevo por 20 minutos, se agregó agua destilada a 100 °C, se homogenizó de nuevo y la masa resultante, se hizo pasar por un molino de carne para formar pellets de 5 mm de diámetro (Teshima *et al.*, 2001), los cuales se secaron a 60 °C hasta obtener un contenido de humedad aproximado de 10%. Por último, las dietas se almacenaron a -24 °C hasta su uso.

Pruebas de alimentación. La prueba de alimentación con las hembras se realizó en acuarios de 20 L, bajo las mismas condiciones reportadas durante la aclimatación. Se alimentaron a tres hembras (peso inicial de 4.2 ± 0.5 g; media \pm error estándar) con cada una de las dietas al 5% del peso corporal, dividido en dos raciones a las 09:00 y 18:00 h.

Las hembras se pesaron en una balanza analítica (Ohaus, Explorer Pro, precisión ± 0.001 g) cada 10 días y el tamaño de la porción se ajustó de acuerdo al peso ganado. El alimento no consumido y las heces fecales se removieron una vez al día, utilizando un sifón y recuperando el nivel con agua fresca sin cloro. Las hembras se alimentaron con las dietas formuladas por un periodo de 40 días. Al final del periodo, se pesaron y se colocaron en acuarios de 250 L para iniciar el proceso de reproducción, utilizando una proporción de 2 hembras por cada macho. Después de la inseminación, las hembras se colocaron de nuevo en los acuarios de 20 L hasta que desovaron. Los huevos obtenidos se colectaron, midieron (largo y ancho) y se congelaron a -24 °C hasta que se realizaron los análisis de contenido de proteína y lípidos.

Para la prueba con los juveniles, se utilizó un sistema de recirculación de 15 tanques de plástico de 50 L, equipado con un filtro mecánico y biológico de grava de río. En cada tanque se colocaron aleatoriamente 10 juveniles (peso inicial de 3.0 ± 0.2 g; media \pm error estándar). Cada dieta se ofreció por triplicado, al 7% de la biomasa total por cada tanque, dividida en dos porciones (09:00 y las 18:00 h). Los organismos se pesaron cada 14 días y la ración diaria se ajustó a los nuevos pesos registrados. La materia fecal y el alimento no consumido fueron removidos de los tanques por medio de sifoneo, treinta minutos después de cada alimentación. La prueba de alimentación tuvo una duración de 80 días y al finalizar, los organismos no se alimentaron por 24 h y después se pesaron para determinar el crecimiento. Cinco langostinos fueron utilizados para evaluar el consumo de oxígeno y la excreción de nitrógeno.

Durante ambas pruebas de alimentación, los parámetros de la calidad del agua fueron: oxígeno disuelto, 5.5 ± 1.0 mg L⁻¹ (promedio \pm desviación estándar); amonio y nitratos de 0.00 mg L⁻¹; pH de 7.9 a 8.4 y temperatura del agua de 28 ± 1 °C.

Tabla 2. Formulaciones y composición proximal de las dietas para juveniles de *Macrobrachium acanthurus*.

Ingredientes (g/100 g)	Tratamientos					
	P-25	P-30	P-35	P-40	P-45	P-50
Caseína	30.3	36.4	42.5	48.6	54.7	60.7
Mezcla de carbohidratos ¹	39.7	32.8	25.8	18.9	12	10.4
α -celulosa	6.3	7.1	7.9	8.8	9.6	10.4
Mezcla de vitaminas ²	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
Mezcla de minerales ³	5	5	5	5	5	5
Otros ⁴	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8
Composición proximal⁵						
Proteína cruda	24.9	31	34.9	41	44.9	50
Lípidos	10	10	10	10	10	10
Cenizas	3	3	4	3	3	3
Humedad (%)	5	6	6	5	5	6

¹Dextrina: α -almidón: glucosa: sacarosa (2:3:7:13)

²Mezcla de vitaminas (mg/100g): ácido *p*-aminobenzoico, 15.08; biotina, 0.63; inositol, 632; niacina, 63.2; pantotenato de Ca, 94.8; piridoxina HCl, 18.96; rivo flavina, 12.64; tiamina HCl, 6.32; menadionina, 6.34; β -caroteno, 15.17; calciferol, 1.90; cianocobalamina, 0.13; L-ascorbil-2-fosfato trisodio, 55.11; ácido fólico, 1.26; cloruro de colina, 984.

³Mezcla de minerales (mg/100 g): K₂HPO₄, 1169; Ca₃(PO₄)₂, 1591; MgSO₄•7H₂O, 1778.5; NaH₂PO₄•H₂O, 461.5.

⁴Otros ingredientes (g/100 g): glucosamina HCl, 0.8; Na citrato, 0.3; Na succinato, 0.3; Aceite de soya, 4.5; Aceite de pescado, 4.5; Colesterol, 1; dibutil-hidroxi tolueno, 0.1; Gluten, 5.

⁵% base seca

Consumo de oxígeno y excreción de nitrógeno. Los langostinos se mantuvieron sin alimento por un periodo de 24 horas previo a la prueba. Se utilizó un sistema de circulación cerrado, compuesto de frascos de 1 L conectados en serie por medio de mangueras de plástico. Los frascos se llenaron lentamente con agua y una vez completado el proceso, se cerró el flujo del agua. Se tomaron muestras para la determinar las concentraciones iniciales de O_2 y N_2 . Se colocó un organismo en cada frasco y se cerró herméticamente por un periodo de 30 min. Al finalizar este tiempo, los frascos se abrieron y se determinó la concentración de oxígeno disuelto y se tomaron las muestras para N_2 . El oxígeno disuelto se determinó utilizando un oxímetro (modelo 85, YSI Incorporated, OH, USA) y el consumo de oxígeno se calculó restando la concentración inicial a la concentración final. La excreción de nitrógeno (como NH_3-N) se determinó mediante el método de Nessler (Eaton *et al.*, 1995).

Análisis químicos. El contenido de proteína, cenizas y humedad se determinaron utilizando la técnica de la AOAC (1990), mientras que el contenido de lípidos se determinó mediante la técnica de Blight y Dyer (1959) utilizando cloroformo y metanol para la extracción.

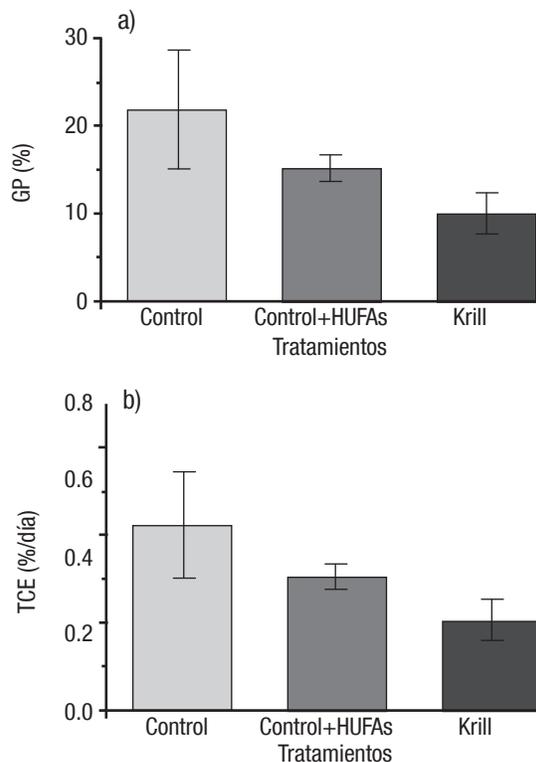
Análisis estadístico. Los datos de crecimiento (ganancia en peso, tasa de crecimiento específico, tasa de eficiencia de la dieta), consumo de oxígeno, excreción de nitrógeno, tamaño, contenido de proteína y lípidos de los huevos se analizaron para normalidad y homoscedasticidad con las pruebas W de Shapiro y Wilk, así como de Barlett, respectivamente (Zar, 1999). Los datos de supervivencia se transformaron mediante la función arcoseno antes de las pruebas mencionadas. Los datos que mostraron normalidad y homoscedasticidad, se trataron con un ANDEVA de una vía (Prism 6 for Mac OS X, GraphPad Software Inc., USA). Las diferencias significativas entre los tratamientos se evaluaron con una prueba de Fisher LSD (Zar, 1999) y la diferencias se determinaron con un error de 5% ($p < 0.05$) para cada grupo de comparaciones. El requerimiento de proteína en la dieta se estimó con el método de línea de rompimiento (Robbins *et al.*, 2006). Los análisis de regresión se realizaron con el software DeltaGraph for Mac v. 6 (Red Rock Software, Inc. USA).

RESULTADOS

El crecimiento registrado en las hembras se muestra en la Figura 1. Se observó que las hembras alimentadas con la dieta Control mostraron una ganancia en peso (GP) y tasas de crecimiento específico (TCE) mayores, aunque no se observaron diferencias significativas con respecto a los tratamientos Krill y Control+HUFA. Los valores más bajos de GP y TCE se observaron en las hembra alimentadas con la dieta Krill. Respecto a los huevos producidos, no se observaron diferencias significativas en el largo y ancho obtenidos entre tratamientos (Fig. 2a). El contenido de proteína fue significativamente ($p < 0.05$) mayor en los huevos producidos por las hembras alimentadas con la dieta de Krill, con respecto al observado en los huevos producidos por las hembras alimentadas con la dieta Control (Fig. 2b). El contenido de lípidos (Fig. 2c), registró una tendencia similar, con los valores mas altos observados en los huevos de las hembras alimentadas con Krill, sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos.

En la Tabla 3 se muestran los valores obtenidos en la prueba realizada con los juveniles. Se observó que la GP se incrementó conforme se incrementó el contenido de proteína hasta un nivel de 40% a partir del cual se observaron valores significativamente mas bajos. Una ten-

dencia similar se observó para los valores significativamente más bajos de TCE y de la tasa de eficiencia de la dieta (TED) en los organismos alimentados con las dietas con 45 y 50% de inclusión de proteína.



Figuras 1a-b. Ganancia en peso (GP) (a) y tasa de crecimiento específico (TCE) (b) de hembras de *M. acanthurus* alimentadas con tres diferentes dietas. Cada barra representan el promedio de tres repeticiones \pm el error estándar. No se observaron diferencias significativas a este nivel ($p < 0.05$).

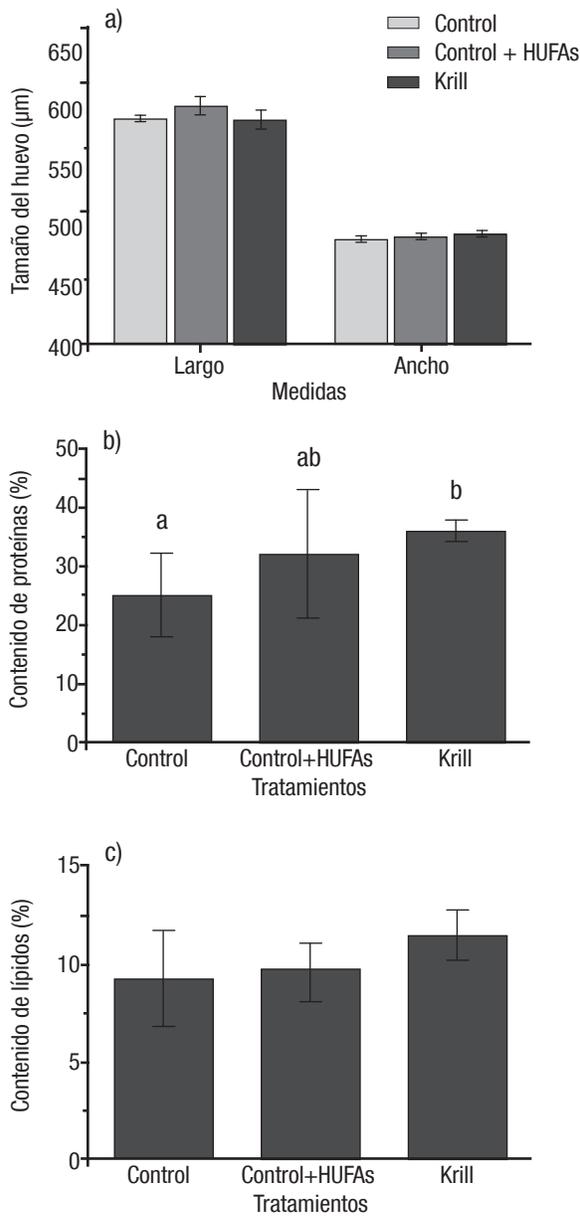
Tabla 3. Ganancia en peso (GP), tasa de crecimiento específico (TCE) y tasa de eficiencia de la dieta (TED) de juveniles de langostino *M. acanthurus* alimentados con diferentes niveles de proteína en dietas semi-purificadas. Los valores representan el promedio de tres repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Tratamientos	GP (%) ¹	TCE (%/día) ²	TED ³
P-25	13.9 \pm 1.2a	0.17 \pm 0.01a	0.06 \pm 0.01a
P-30	21.4 \pm 1.1b	0.26 \pm 0.01b	0.20 \pm 0.05b
P-35	26.6 \pm 2bc	0.32 \pm 0.02bc	0.31 \pm 0.03c
P-40	30.6 \pm 2.3c	0.38 \pm 0.02c	0.22 \pm 0.09b
P-45	21.0 \pm 2.5b	0.26 \pm 0.03b	0.21 \pm 0.02b
P-50	23.3 \pm 1.1b	0.29 \pm 0.02b	0.21 \pm 0.02b

¹GP = [(peso final - peso inicial) / peso inicial] x 100

²TCE = [(ln peso final - ln peso inicial) / 80] x 100

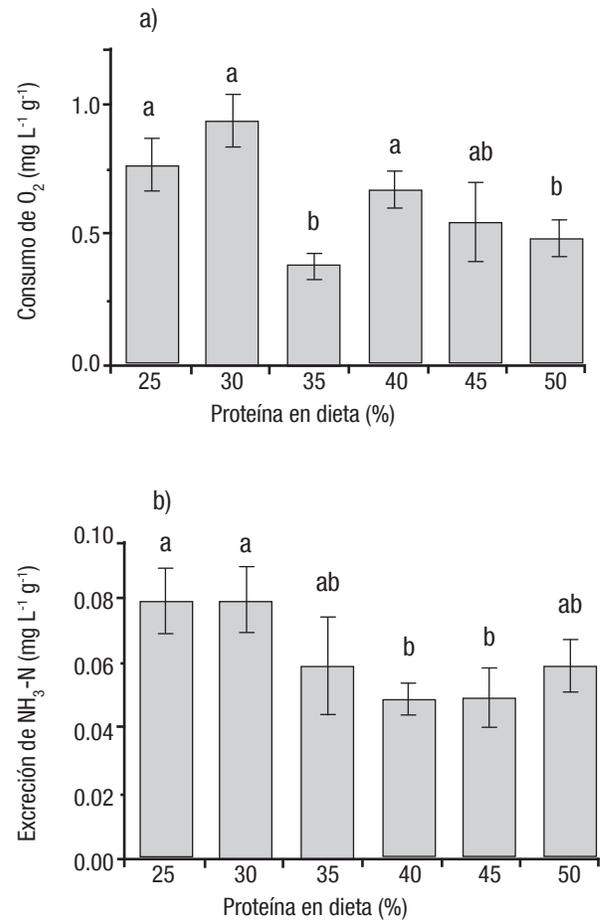
³TED = Ganancia en peso (g) / ingesta total de dieta (g materia seca)



Figuras 2a-c. Tamaño (a), contenido de proteína (b) y lípidos (c) de los huevos de hembras de *M. acanthurus* alimentadas con tres diferentes dietas. Cada barra representan el promedio de tres repeticiones \pm el error estándar. Letras diferentes en la gráfica indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

En la Figura 3a se muestra el consumo de oxígeno de los juveniles. Se observaron valores significativamente ($p < 0.05$) más bajos en los organismos alimentados con las dietas con 35 y 50% de proteína. Los valores mas altos se observaron en los juveniles alimentados con las dietas de 25 y 30% de proteína. En lo que respecta a la excreción de nitrógeno (expresado como $\text{NH}_3\text{-N}$) se observó una tendencia hacia valores cada vez mas bajos conforme se incrementó el contenido de proteína en la dieta, hasta un contenido de 40%. Los valores de excreción significativamente ($p < 0.05$) más altos se observaron en los grupos alimentados con las dietas con 25 y 30% de proteína.

En la Figura 4 se muestra el requerimiento mínimo de proteína en la dieta para *M. acanthurus*. La determinación se realizó en términos de la GP, mediante el análisis de línea de rompimiento. El requerimiento mínimo se estimó en 37.8%. Las ecuaciones de regresión utilizadas considerando la GP promedio fueron las siguientes: $y = 1.1x + 12.9$ ($r^2 = 0.98$) y $y = -0.7x + 57.8$ ($r^2 = 0.60$).



Figuras 3a-b. Consumo de oxígeno (a) y excreción de nitrógeno (b) de juveniles de langostino *M. acanthurus* alimentados con diferentes niveles de proteína en dietas semi-purificadas. Cada barra representa el promedio de cinco repeticiones \pm el error estándar. Letras diferentes en la gráfica indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

DISCUSIÓN

La alimentación juega un papel importante en los cultivos acuícolas, pues el aporte constante de nutrientes permite el desarrollo y crecimiento normales de los organismos durante el proceso de producción (Espinosa-Chaurand *et al.*, 2011). Así, la investigación sobre requerimientos nutricionales es básica para el desarrollo de dietas balanceadas. En el presente trabajo se reportan por primera vez la formulación de tres dietas balanceadas para hembras maduras de camarón prieto *M. acanthurus*, así como la inclusión de harina y aceite de krill para mejorar el contenido de proteína y lípidos de los huevos. Así mismo,

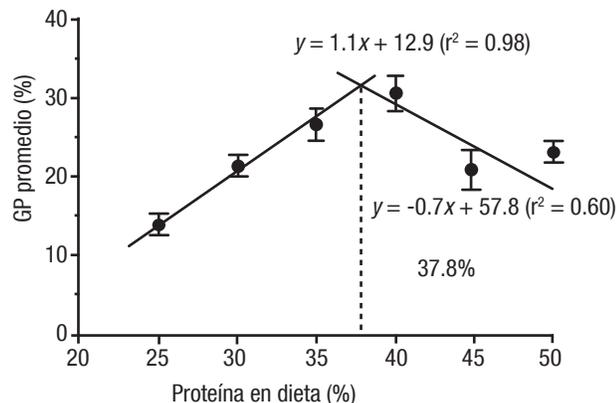


Figura 4. Relación entre la ganancia en peso de juveniles de *M. acanthurus* y diferentes niveles de proteína en la dieta. Cada punto representa el promedio de tres repeticiones \pm error estándar. El requerimiento mínimo de proteína derivado del análisis de línea de rompimiento en términos de la ganancia en peso es de 37.8%.

se reporta el requerimiento mínimo de inclusión de proteína de 37.8% para el estadio juvenil de esta especie.

Después de alimentar a las hembras de *M. acanthurus* durante 40 días, se observaron índices de crecimiento bajos comparados con los reportados para otros crustáceos de peso similar, como *Marsupenaeus japonicus* (Bate, 1888) (Teshima et al., 2001), *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868) (Hernández-Vergara et al., 2003) y *M. rosenbergii* (Teshima et al., 2006). Estos datos de crecimiento de las hembras de *M. acanthurus*, muestra que los nutrientes se utilizaron en la formación de huevo y no propiamente en el crecimiento. La maduración sexual y la reproducción son periodos demandantes en el ciclo de vida de los crustáceos, pues los nutrientes se redirigen del crecimiento somático hacia los procesos de maduración y producción de gónadas, particularmente en las hembras (NCR, 2011). Este fenómeno ha sido previamente reportado para otras especies de crustáceos silvestres y en cultivo (Harrison, 1990).

La calidad del huevo está influenciada grandemente por la nutrición de los reproductores, particularmente de las hembras (Rodríguez-González et al., 2009), debido a que éstas requieren producir el vitelo que sostiene los requerimientos de nutrientes y energía durante el desarrollo embrionario (Subramoniam, 2011). Entre los parámetros utilizados para determinar la calidad se menciona el tamaño y el contenido de nutrientes (Rodríguez-González et al., 2009). Las dietas utilizadas no tuvieron un efecto en el tamaño del huevo de *M. acanthurus* y los valores de largo y ancho de los organismos obtenidos fueron similares a los previamente reportados por Mejía-Ortiz et al. (2001) a partir de organismos silvestres colectados en el río Huitzilapan, Veracruz; así como de *M. tenellum* (García-Ulloa et al., 2004) y de *M. carcinus* (Rólier & Wehrtmann, 2009), ambos producidos en condiciones de cautiverio. Por otro lado, las fuentes de proteína y lípidos en las dietas tuvieron un efecto en la composición proximal del huevo. Se observó una tendencia de valores más altos de proteína y lípidos en los huevos producidos por la hembras alimentadas con la dieta con inclusión de aceite y harina de krill, en comparación con las hembras alimentadas exclusivamente con

harina y aceite de pescado. Tradicionalmente se han utilizado insumos de pescado para las dietas de crustáceos en cultivo debido a sus perfiles de aminoácidos y ácidos grasos (NRC, 2011). Los productos de krill, principalmente la harina, se han utilizado como suplementos en las dietas de camarones peneidos juveniles para mejorar el crecimiento o incrementar el consumo de alimento (Williams et al., 2005; Nunes et al., 2011), pero hasta ahora no se habían utilizado como ingredientes en dietas para reproductores. Los datos obtenidos en este trabajo indican que la inclusión de productos de krill en las dietas para reproductores de *M. acanthurus* pueden tener un efecto positivo en la calidad del huevo, ya que aumenta la cantidad de lípidos y proteínas, principales compuestos de las lipoproteínas que conforman el vitelo (Harrison, 1990; Subramoniam, 2011).

Por lo general, los niveles óptimos de proteína en la dieta se han determinado mediante la interacción entre diferentes niveles de proteína en la dieta y su efecto en el crecimiento o la supervivencia (Teshima et al., 2001). Con respecto a la prueba con juveniles, se observó una tendencia hacia valores crecientes en los índices de crecimiento (GP, TCE y TED) hasta un nivel de 40% de inclusión de la proteína, después del cual los valores disminuyeron. De acuerdo con el modelo de línea de rompimiento (Robbins et al., 2006) y utilizando caseína como fuente de proteína única, el requerimiento mínimo en la dieta fué de 37.8%. Este valor es similar a los reportados para otras especies de crustáceos omnívoros como *M. acanthurus* (Albertoni et al., 2003), tales como *M. rosenbergii* (36-40%; Teshima et al., 2006) y *Penaeus monodon* (Fabricius, 1798) (40%; Chen, 1993) y mas baja que los de organismos carnívoros como *M. japonicus* (50%; Teshima et al., 2001).

Los juveniles alimentados con el nivel de proteína de 35%, mostraron el menor consumo de oxígeno y de excreción de N. De acuerdo con Bureau et al. (2002), ambos parámetros pueden utilizarse para estimar la oxidación de la porción de la proteína en la dietas, indicando los valores bajos un mejor uso del contenido de proteína (menos excreción de N en forma de NH_3) y menos energía en su oxidación (menos consumo de oxígeno). Dicho valor de inclusión es cercano al valor obtenido con el modelo utilizando la GP.

La utilización de harina y aceite de krill mostró un efecto positivo en la maduración sexual de las hembras de *M. acanthurus*, así como en el contenido de proteína y lípidos de los huevos. Es necesario, sin embargo, determinar el efecto del aceite de krill en el perfil de ácidos grasos y en el contenido de carotenoides en el huevo, constituyentes importantes para la formación de lipoproteínas del vitelo. Se determinó que el requerimiento de proteína mínimo es de 37.8% para el estadio juvenil y con esta información, se posibilita desarrollar formulaciones para el cultivo de *M. acanthurus* y con ello permitir un crecimiento y desarrollo adecuados.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se realizó con fondos del Programa de Apoyo a los Profesores de Carrera para Promover Grupos de Investigación (PAP-CA) convocatoria 2011-2012 de la FES Iztacala. Así mismo, los autores agradecen el apoyo financiero del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica de la DGAPA, UNAM, proyecto IN218313.

REFERENCIAS

- AKIYAMA, D. M., W. G. DOMINY & A. L. LAWRENCE. 1992. Penaeid shrimp nutrition. In: Fast A. W. & L. J. Lester (Eds.). *Marine shrimp culture: principles and practices*. Elsevier, The Netherlands. pp. 535-568.
- ALBERTONI, E. F., C. PALMA-SILVA & F. A. ESTEVES. 2003. Natural diet of three species of shrimp in a tropical coastal lagoon. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 46: 395-403.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990. Official methods of analysis, 15th Ed. Association of Analytical Chemistry, Virginia, USA, pp. 69-78.
- BLIGH, E. G. & W. J. DYER. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology* 37: 911-917.
- BENÍTEZ-MANDUJANO, M. & J. T. PONCE-PALAFIX. 2014. Effects of different dietary of protein and lipid levels on the growth of freshwater prawns (*Macrobrachium carcinus*) broodstock. *Revista MVZ Córdoba* 19: 3921-3929.
- BUREAU, D. P., S. J. KAUSHIK & C. Y. CHO. 2002. Bioenergetics. In: Halver J. E. & R. W. Hardy (Eds.). *Fish nutrition*, 3rd Edition. Academic Press. San Diego, USA. pp. 1-59.
- CASAS-SÁNCHEZ, R., Y. VAILLARD-NAVA & A. D. RE-ARAUJO. 1995. Nutrición en juveniles del langostino *Macrobrachium carcinus* (Crustacea:Decapoda) con dietas de residuos vegetales y marinos. *Revista de Biología Tropical* 43: 251-256.
- Chen, H. Y. 1993. Recent advances in nutrition of *Penaeus monodon*. *Journal of the World Aquaculture Society* 24: 231-240.
- EATON, A. E., L. S. CLESCERL & A. E. GREENBERG. 1995. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 17th ed. American Public Health Association. Washington, D.C., U.S.A.
- D'ABRAMO, L. R. 1998. Nutritional requirements of freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*: comparisons with species of penaeid shrimp. *Reviews in Fisheries Science* 6: 153-163.
- D'ABRAMO, L. R. & M. B. NEW. 2000. Nutrition, feeds and feeding. In: New, M. B. & W. C. Valenti (Eds.). *Freshwater prawn culture, the farming of Macrobrachium rosenbergii*. Blackwell Science, Oxford, England, pp. 203-220.
- DE LOS SANTOS-ROMERO, R., M. E. SILVA-RIVERA & J. RUIZ-VEGA. 2006. Distribución, producción biológica y aprovechamiento de especies de la familia Palaemonidae en los humedales de Colotepec, Oaxaca, México. *Naturaleza y Desarrollo* 4: 5-18.
- DOS SANTOS, E. P., L. A. L. GONÇALVES, P. M. MORALES DA SILVA & C. E. DE SOUZA. 2007. Influência de diferentes dietas na sobrevivência larval do camarão de água doce *Macrobrachium carcinus* (Linnaeus, 1758). *Acta Scientiarum Biological Science* 29: 121-124.
- ESPINOSA-CHAURAND, L. D., M. A. VARGAS-CEBALLOS, M. GUZMÁN-ARROTO, H. NO-LASCO-SORIA, O. CARRILLO-FÁRNES, O. CHONG-CARRILLO & F. VEGA-VILLASANTE. 2011. Biología y cultivo de *Macrobrachium tenellum*: estado del arte. *Hidrobiológica* 21: 99-117.
- GARCÍA-GUERRERO, M. U., F. BECERRIL-MORALES, F. VEGA-VILLASANTE & L. D. ESPINOSA-CHAURAND, 2013. Los langostinos del género *Macrobrachium* con importancia económica y pesquera en América Latina: conocimiento actual, rol ecológico y conservación. *Latin American Journal of Aquatic Research* 41: 651-675.
- GARCÍA-ULLOA, M., H. RODRÍGUEZ & T. OGURA. 2004. Calidad del huevecillo de dos especies de langostino (Palemonidae) del género *Macrobrachium* (*M. rosenbergii*, De Man 1879, y *M. tenellum*, Smith, 1871) variando la dieta de los reproductores: índices morfométricos. *Avances en Investigación Agropecuaria* 8: 17-27.
- GRANADOS, B. A. A. 1984. Biología, ecología y pesquerías de los langostinos de México. *Universidad y Ciencia* 1: 1-5.
- HARRISON, K. E. 1990. The role of nutrition in maturation, reproduction and embryonic development of decapod crustaceans: a review. *Journal of Shellfish Research* 9: 1-28.
- HERNÁNDEZ-GUZMÁN, M. A., J. CRUZ-HERNÁNDEZ, L. M. MEJÍA-ORTÍZ, P. ORTEGA & J. A. VICCON-PALE, J. A. 1999. Relative abundance and growth of *Macrobrachium heterochirus* between 1983-84 and 1996-97, Huitzilapan river basin, Veracruz, Mexico. In: F. R. Schram, J. C. Von Vaupel Klein (Eds.). *The biodiversity crisis and Crustacea, Proceedings of the Fourth International Crustacean Congress* 2: 739-749.
- HERNÁNDEZ-SANDOVAL, P. 2008. Efecto de la temperatura en el crecimiento y sobrevivencia del langostino *Macrobrachium tenellum* y del aco-cil *Cherax quadricarinatus*. Tesis de maestría. CIDIIR-IPN. Sinaloa, México, 60 p.
- HERNÁNDEZ-VERGARA, M. P., D. B. ROUSE, M.A. OLVERA-NOVOA & D.A. DAVIS. 2003. Effects of dietary lipid level and source on growth and proximate composition of juveniles redclaw (*Cherax quadricarinatus*) reared under semi-intensive culture conditions. *Aquaculture* 223: 107-115.
- MEJÍA-ORTÍZ, L. M., F. ÁLVAREZ, R. ROMÁN & J. A. VICCON-PALE. 2001. Fecundity and distribution of freshwater prawns of the genus *Macrobrachium* in the Huitzilapan River, Veracruz, Mexico. *Crustaceana* 74: 69-77.
- MEJÍA-ORTÍZ, L. M., R. G. HARTNOLL & M. LÓPEZ-MEJÍA. 2010. The abbreviated larval development of *Macrobrachium totonacum* Mejía, Álvarez & Hartnoll, 2003 (Decapoda, Palaemonidae), reared in the laboratory. *Crustaceana*. 83: 1-16.
- National Research Council (NRC). 2011. *Nutrient requirements of fish and shrimps*. The National Academic Press. Washington DC, USA. 376 p.
- NUNES, A. J. P., M. V. C. SÁ & H. SABRY-NETO. 2011. Growth performance of the white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, fed on practical diets with increasing levels of the Antarctic krill meal, *Euphasia superba*,

- reared in clear- versus green-water culture tanks. *Aquaculture Nutrition* 17: e511-e520.
- ROBBINS, K. R., A. M. SAXTON & L. L. SOUTHERN. 2006. Estimation of nutrient requirements using broken-line regression analysis. *Journal of Animal Science* 84: E155-E165.
- RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, H., H. VILLARREAL, M. GARCÍA-ULLOA & A. HERNÁNDEZ-LLAMAS. 2009. Dietary lipid requirements for optimal egg quality of redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus*. *Journal of the World Aquaculture Society* 40: 531-539.
- RÓLIER, L. L. & I. S. WEHRTMANN. 2009. Reproductive biology of the freshwater shrimp *Macrobrachium carcinus* (L.) (Decapoda: Palaemonidae) from Costa Rica, Central America. *Journal of Crustacean Biology* 29: 343-349.
- SUBRAMONIAM, T. 2011. Mechanisms and control of vitellogenesis in crustaceans. *Fisheries Science* 77: 1-21.
- TESHIMA, S. I., S. KOSHIO, M. ISHIKAWA & A. KANAZAWA. 2001. Protein requirement of the prawn *Marsupenaeus japonicus* estimated by a factorial method. *Hydrobiologia* 449: 293-300.
- TESHIMA, S. I., S. KOSHIO, M. ISHIKAWA, M. S. ALAM & L. H. H. HERNÁNDEZ. 2006. Protein requirements of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* evaluated by the factorial method. *Journal of the World Aquaculture Society* 37: 145-153.
- WILLIAMS, K. C., D. M. SMITH, M. C. BARCLAY, S. J. TABRETT & G. RIDING. 2005. Evidence of a growth factor in some crustacean-based feed ingredients in diets for the giant tiger shrimp *Penaeus monodon*. *Aquaculture* 250: 377-390.
- ZAR, J. H. 1999. *Biostatistical analysis*. 4th Ed. Prentice Hall. New Jersey, USA. 663 p.

Recibido: 14 de octubre de 2014.

Aceptado: 09 de septiembre de 2015.