

Requerimientos de Energía y Proteína Digerible para Crecimiento y Mantenimiento de Subadultos de *Litopenaeus vannamei*

A.J. Siccardi III^{1,*}, A.L. Lawrence¹, D.M. Gatlin III¹, J.M. Fox¹, F.L. Castille¹, M. Perez-Velazquez² y M.L. González-Félix²

¹Texas Agricultural Experiment Station, Shrimp Mariculture Research, Texas A&M University System, 1300 Port Street, Port Aransas, TX 78373. E-mail: smpall@yahoo.com

²Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora, Rosales y Niños Héroes s/n A.P. 1819 C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México

Abstract

Los requerimientos de energía digerible (ED) y proteína digerible (PD) para el crecimiento y mantenimiento de subadultos de camarón blanco del Pacífico *L. vannamei* fueron determinados utilizando dos alimentos balanceados semipurificados que contenían ya sea 25% proteína cruda y 4.198 kcal g⁻¹ (PD 23.05%; ED 3.531 kcal g⁻¹) o 35% proteína cruda y 4.081 kcal g⁻¹ (PD 35.07%; ED 3.485 kcal g⁻¹). Los alimentos fueron suministrados a tasas constantes (0.046, 0.073, 0.117, 0.187, 0.300, 0.479, 0.767, 1.227, 1.963, and 3.141 g alimento día⁻¹ camarón⁻¹) a subadultos de *L. vannamei* sembrados individualmente en 400 tanques (20 camarones por cada tasa de alimentación). El crecimiento fue monitorizado semanalmente a lo largo del período experimental (7 semanas) con el fin de evaluar el efecto de la talla sobre los requerimientos diarios de energía y proteína.

La regresión del peso ganado y la tasa de alimentación para el alimento con contenido de proteína de 35% indicó un requerimiento de PD para crecimiento máximo de entre 0.09 g PD camarón⁻¹ día⁻¹ para individuos de 8.2 g de peso y 0.11 g PD camarón⁻¹ día⁻¹ para individuos de 13.8 g. Los valores de ED para crecimiento máximo fueron de entre 0.912 kcal ED camarón⁻¹ día⁻¹ para individuos de 9.6-g y 1.079 kcal ED camarón⁻¹ día⁻¹ para individuos de 13.8 g. La estimación de los requerimientos de PD para mantenimiento se obtuvo mediante la extrapolación de los valores de regresión de la tasa de crecimiento a cero, los cuales fueron de entre 0.02 g PD camarón⁻¹ día⁻¹ para individuos de 8.2-g y 0.03 g PD camarón⁻¹ día⁻¹ para individuos de 13.8 g. Los requerimientos de ED para mantenimiento fueron de entre 0.195 kcal ED camarón⁻¹ día⁻¹ para individuos de 8.2 g y 0.267 kcal ED camarón⁻¹ día⁻¹ para individuos de 13.8 g.

La regresión del peso ganado y la tasa de alimentación para el alimento con contenido de proteína de 25% indicó un requerimiento de PD para crecimiento máximo de entre 0.07 g PD camarón⁻¹ día⁻¹ para individuos de 11.2 g de peso y 0.08 g PD camarón⁻¹ día⁻¹ para individuos de 7.9 g. Los valores de ED para crecimiento máximo fueron de entre 1.102 kcal ED camarón⁻¹ día⁻¹ para individuos de 11.2 g y 1.171 kcal ED camarón⁻¹ día⁻¹ para individuos de 7.9 g. La estimación de los requerimientos de PD para mantenimiento se obtuvo también mediante la extrapolación de los valores de regresión de la tasa de crecimiento a cero, los cuales fueron de entre 0.01 g PD camarón⁻¹ día⁻¹ para individuos de 7.9 g y 0.02 g PD camarón⁻¹ día⁻¹ para individuos de 9.0 g. Los requerimientos de ED para mantenimiento fueron de entre 0.149 kcal ED camarón⁻¹ día⁻¹ para individuos de 9.0 g y 0.234 kcal ED camarón⁻¹ día⁻¹ para individuos de 13.1 g.

El crecimiento de los organismos que recibieron el alimento con contenido de proteína de 25% fue menor que el de aquellos alimentados con 35% de proteína (1.08 g semana⁻¹ comparado con 1.19 g semana⁻¹, respectivamente). Sin embargo, el uso de la proteína fue más eficiente por unidad de crecimiento para el alimento de 25% proteína (0.45 g PD g de crecimiento⁻¹) que para el de 35% proteína (0.54 g PD g de crecimiento⁻¹). Esto sugiere la importancia de la optimización de la proporción entre la proteína y la energía para permitir el uso más eficiente de la proteína, i.e., para el crecimiento, en comparación con su uso como fuente de energía. El consumo de alimento necesario para alcanzar un crecimiento máximo fue similar para ambos alimentos (0.32 y 0.31 g día⁻¹ camarón⁻¹ para los alimentos de 25 y 35% proteína, respectivamente), lo que sugiere que los camarones consumen alimento para satisfacer un requerimiento energético y reitera la importancia de una proporción óptima entre la proteína y la energía.

A.J. Siccardi III, A.L. Lawrence, D.M. Gatlin III, J.M. Fox, F.L. Castille, M. Perez-Velazquez y M.L. González-Félix. 2006. Requerimientos de Energía y Proteína Digerible para Crecimiento y Mantenimiento de Subadultos de *Litopenaeus vannamei*. En: Editores: L. Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha G. Nieto López, David A. Villarreal Cavazos, Ana C. Puello Cruz y Armando García Ortega. Avances en Nutrición Acuícola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 15 - 17 Noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México. ISBN 970-694-333-5.

Introducción

Aunque la camaronicultura es aún una de las actividades económicas de mayor crecimiento en los Estados Unidos, con un valor estimado de 6 billones de dólares americanos por año, su crecimiento en este país ha sido asociado con efectos ambientales negativos (Boyd and Clay, 1998). Estos efectos ambientales han forzado a los camaronicultores a cumplir con límites máximos aceptables en la concentración de contaminantes en los efluentes, lo que de alguna manera ha desacelerado la expansión de la industria (Lawrence *et al.*, 2001). Los alimentos balanceados pueden contribuir con una cantidad significativa de nutrientes en los efluentes, por lo que, para cumplir con estándares ambientales, se hace necesaria la formulación de alimentos que sean amigables con el ambiente o que causen la menor contaminación posible. Velasco *et al.* (1999) demostraron una correlación entre la proteína dietética y la acumulación de nitrógeno inorgánico en el agua de cultivo. También observaron que el empleo de dietas que maximizan la utilización de la proteína para el crecimiento, y no como fuente de energía, puede conducir a la reducción de los desechos nitrogenados del efluente.

Los niveles de proteína de los alimentos balanceados deben optimizarse para reducir costos de producción, ya que la proteína es el mayor componente de los alimentos y también el de mayor costo (Shiau *et al.*, 1992; Cordova-Murueta and Garcia-Carreno, 2002), además de que los alimentos balanceados constituyen el mayor costo de producción en una granja (Akiyama *et al.*, 1992). Con el fin de hacer frente a la reducción global de precios de camarón, los camaronicultores han incrementado la densidad de siembra de organismos en estanques y raceways, es decir, han intensificado los cultivos. En términos de la nutrición de los organismos, dicha intensificación implica un mayor peso sobre el alimento balanceado y no sobre la productividad natural, obligando a los nutriólogos a formular alimentos que contengan el balance apropiado de energía, proteína, minerales y vitaminas, manteniendo al mismo tiempo la eficiencia del alimento en cuanto a su costo. Para lograr lo anterior, los nutriólogos, a su vez, se apoyan en los investigadores para obtener información acerca de los niveles de nutrientes óptimos.

Los requerimientos nutricionales de proteína han sido estimados utilizando incrementos graduales de los niveles de este nutriente en dietas experimentales, suministradas en exceso o a saciedad aparente, y evaluando la respuesta en crecimiento (típicamente peso ganado) bajo condiciones ambientales controladas. Dichos resultados han indicado un requerimiento de proteína (que en realidad se trata del nivel de proteína en el alimento balanceado, tal como es ofrecido) de juveniles de *Litopenaeus vannamei* desde 15% con una proporción de energía y proteína (proporción E: P) de 119.58 kJ g⁻¹ proteína (Aranyakananda, 1995), hasta aproximadamente 30%, con una proporción E:P de 41.86 kJ g⁻¹ proteína (Cousin *et al.*, 1991), e incluso mayor de 36% (Smith *et al.*, 1985) y de 40% (Colvin y Brand, 1977). Estas variaciones obedecen a que los requerimientos de proteína de los camarones cambian con factores tales como la talla, edad, estatus fisiológico, tasa de crecimiento y características de la dieta como la proporción E: P (Colvin y Brand, 1977; Bhaskar y Ali, 1984; Akiyama, 1991; Guillaume, 1997; Pedrazzoli *et al.*, 1998), así como la fuente de proteína. Así mismo, las diferencias observadas también pueden deberse a que en estos estudios se ha suministrado el alimento *ad-libitum*, lo que permite a los organismos incrementar a voluntad la ingesta de alimento, enmascarando el efecto de una dieta baja en proteína y conduciendo a una variación substancial del requerimiento de la proporción E: P (Kureshy and Davis, 2002). Kureshy y Davis (2002) estimaron el requerimiento de proteína para el crecimiento máximo y el mantenimiento de juveniles y subadultos de *L. vannamei* utilizando dieta experimentales con contenidos proteicos de 16, 32, y 48% y

proporción E: P de 105.06, 52.61, y 37.25 kJ g⁻¹ proteína. El requerimiento de proteína para mantenimiento de juveniles fue de 1.8-3.8 g proteína cruda por kg de peso corporal húmedo por día (g PC kg⁻¹ PCH d⁻¹) y de 1.5-2.1 g PC kg⁻¹ PCH d⁻¹ para subadultos. Para alcanzar el crecimiento máximo, los juveniles requirieron 46.4 g PC kg⁻¹ PCH d⁻¹ al ser alimentados con la dieta de 32% de proteína y 23.5 g PC kg⁻¹ PCH d⁻¹ para subadultos alimentados con la misma dieta. La eficiencia de utilización del alimento se incrementó en la medida en que lo hizo el nivel de proteína dietética y disminuyó al incrementarse la tasa de alimentación. Esto indica la importancia de la estrategia de aplicar incrementos graduales en la tasa de alimentación, en contraste con la alimentación *ad-libitum*, al determinar los requerimientos de proteína. Aunque los autores determinaron los requerimientos diarios de proteína, no se determinaron los requerimientos diarios de energía.

Aunque la estrategia de aplicar incrementos graduales en la tasa de alimentación (i.e., método de modelación factorial) se ha utilizado ampliamente para determinar los requerimientos de proteína y energía de animales terrestres y peces (Pfeffer and Pieper, 1979; Gatlin *et al.*, 1986; Shearer, 1995), existen muy pocos estudios realizados con camarón. Este método se basa en la suposición de que la energía y proteína requerida por un camarón en crecimiento sea la suma de los requerimientos para crecimiento y mantenimiento. Así, los requerimientos de proteína y energía pueden ser expresados en términos del consumo absoluto diario por unidad de peso y por unidad de peso ganado, en contraste con su expresión en términos de un porcentaje de la dieta. El objetivo del presente estudio fue determinar simultáneamente los requerimientos diarios de energía y proteína digerible aparente de subadultos de *L. vannamei* bajo condiciones de laboratorio.

Materiales y métodos

Bioensayo de inanición

Origen de los organismos

Se utilizaron postlarvas libres de patógenos específicos de cuatro ciclos de maduración distintos, provenientes del Instituto Oceánico (Kailua-Kona, Hawai, EUA). Los organismos se sembraron al aire libre en tanques circulares de fibra de vidrio de 2.44 m de diámetro y se les suministró un alimento balanceado comercial (Rangen 45/10; Rangen Inc., Buhl, ID) cuatro veces al día. Los organismos se transfirieron al laboratorio bajo techo una semana antes de iniciar el experimento para permitir su aclimatación a condiciones de laboratorio (30.1 ± 0.5°C, 32.2 ± 0.4‰) y alcanzar la talla adecuada para la siembra (g, promedio ± Desv. Est.: 5.51 ± 0.33, 7.19 ± 0.32, 14.10 ± 0.59, 16.59 ± 1.02).

Sistema y diseño experimental

El sistema experimental para este estudio consistió de 400 tanques (cada uno con un volumen de 19 L y área superficial de 0.09 m²) conectados a un sistema de recirculación semi-cerrado con un recambio diario de agua de 8%. El agua se bombeó a través de un filtro de arena, un filtro biológico, un filtro de cartucho con tamaño de poro de 50 µm, un intercambiador de calor y una cámara ultravioleta para alcanzar una tasa de recirculación de 0.6 L min⁻¹ tanque⁻¹ (1,440% de recambio tanque⁻¹ día⁻¹). Se utilizó un fotoperíodo de 12 h de luz: 12 h de oscuridad utilizando

A.J. Siccardi III, A.L. Lawrence, D.M. Gatlin III, J.M. Fox, F.L. Castille, M. Perez-Velazquez y M.L. González-Félix. 2006. Requerimientos de Energía y Proteína Digerible para Crecimiento y Mantenimiento de Subadultos de *Litopenaeus vannamei*. En: Editores: L. Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha G. Nieto López, David A. Villarreal Cavazos, Ana C. Puella Cruz y Armando García Ortega. Avances en Nutrición Acuícola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 15 - 17 Noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México. ISBN 970-694-333-5.

iluminación fluorescente. Al inicio del experimento, se sembraron individualmente en cada tanque 100 camarones de cada clase de talla, eliminando el exceso de agua en los organismos con toallas de papel absorbente antes de ser pesados. Diariamente se observó a los organismos para evaluar la mortalidad. Los parámetros fisicoquímicos de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto se midieron cada día empleando un oxímetro YSI 85® Meter (YSI Inc., Yellow Springs, Ohio, EUA). Las concentraciones de nitrógeno amoniacal, NO₂-N, y NO₃-N se midieron semanalmente siguiendo adaptaciones a los métodos descritos por Spotte (1979a,b), Solarzano (1969), Mullen y Riley (1955) y Strickland y Parsons (1972). El pH del agua se midió semanalmente con un potenciómetro Brinkman Metrohm®.

Colecta y análisis de muestras

Diez organismos de cada clase de talla se retiraron semanalmente, se enumeraron, se eliminó de ellos el exceso de agua y se pesaron individualmente. Los organismos se envolvieron individualmente y se etiquetaron para congelarse a -84°C hasta el momento del análisis de la composición corporal. Antes de realizar este análisis, los organismos se liofilizaron individualmente, se molieron utilizando un molino para café (Hamilton Beach/Proctor Silex, Inc., Racine, Wisconsin, EUA) y se determinó su contenido de materia seca (AOAC, 1990). Los contenidos de proteína (Método 990.3, AOAC; Determinador de Nitrógeno/Proteína FP-528; Leco Corporation, St. Joseph, Missouri, EUA), energía (calorímetro modelo 1241; Parr Instrument Co., Moline, Illinois, EUA) y ceniza (AOAC, 1990) de cada muestra liofilizada se determinaron subsecuentemente y se reportan con base en materia seca. Una muestra representativa inicial de 10 organismos de cada clase de talla fue procesada tal como se describió anteriormente para obtener su composición corporal.

Análisis estadístico

Se obtuvieron ecuaciones alométricas para los organismos de las cuatro distintas clases de tallas aplicando regresión lineal a datos transformados (logaritmo). De este modo, se obtuvieron funciones alométricas para los contenidos de ceniza, energía y proteína. Las pérdidas diarias de energía y proteína por individuo fueron calculadas para cada clase de talla y graficadas contra el peso de los organismos, el cual fue calculado como el promedio geométrico entre el peso inicial y final después de 28 días de inanición. Posteriormente se desarrollaron ecuaciones alométricas para predecir las pérdidas diarias de energía (kJ individuo⁻¹ día⁻¹) y proteína (g individuo⁻¹ día⁻¹).

Evaluación preliminar de las dietas experimentales

Dietas experimentales

Se elaboraron trece dietas experimentales en las instalaciones del Proyecto de Maricultura de Camarón, Estación Experimental de Agricultura de Tejas, Universidad de Tejas A&M, Puerto Aransas, Tejas, EUA. La composición de ingredientes de las dietas basales semi-purificadas se muestra en la Tabla 1. Todos los ingredientes, con excepción del alginato y el metafosfato de sodio, se mezclaron en una mezcladora de alimentos (Modelo L-800, Hobart Corporation, Troy, Ohio, EUA) durante 40 minutos. En un recipiente separado, se preparó una mezcla de alginato, metafosfato de sodio y agua desionizada (400 ml kg⁻¹) utilizando una mezcladora de mano manual (Sunbeam Products Inc., Milford, Massachusetts, EUA) durante 45 segundos. Esta mezcla

A.J. Siccardi III, A.L. Lawrence, D.M. Gatlin III, J.M. Fox, F.L. Castille, M. Perez-Velazquez y M.L. González-Félix. 2006. Requerimientos de Energía y Proteína Digerible para Crecimiento y Mantenimiento de Subadultos de *Litopenaeus vannamei*. En: Editores: L. Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar, Martha G. Nieto López, David A. Villarreal Cavazos, Ana C. Puella Cruz y Armando García Ortega. Avances en Nutrición Acuícola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 15 - 17 Noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México. ISBN 970-694-333-5.

se agregó a los ingredientes secos y se mezcló por un minuto adicional para obtener una consistencia apropiada para su extrusión, la cual se realizó utilizando un accesorio para corte de carne (Modelo A-200, Hobart Corporation, Troy, Ohio, EUA) equipado con un dado con orificios de 3 mm. Las dietas experimentales se secaron en un horno a 35 °C hasta obtener un contenido de humedad de 8-10%. Las dietas se molieron con un mortero hasta obtener un tamaño de partícula de 2-4 mm y se almacenaron a 4 °C hasta el momento de su utilización.

Tabla 1. Composición de ingredientes de trece dietas preliminares.

Ingrediente	Número de identificación de la dieta												
	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112
	Nivel de inclusión (g kg ⁻¹)												
Alginato ⁵	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Carbonato de calcio ²	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	13.0	12.3
Celulosa ⁴	20.0	53.6	13.8	13.8	93.7	53.6	53.6	13.8	13.8	53.6	13.8	53.6	13.8
Colesterol ²	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Tierra de diatomeas ⁴		33.8			74.5	33.8	33.8			33.8		33.8	
Fosfato Dicálcio ²	65.6	65.6	65.6	65.6	65.6	65.6	65.6	65.6	65.6	65.6	65.6	22.8	24.6
Harina de pescado ⁶	150.0	136.1	136.1	136.1	136.1	150.0	136.1	136.1	136.1	136.1	136.1	136.1	136.1
Aislado de soya (90%) ¹	79.4	111.1			111.1	79.4	111.1			111.1		111.1	
KCL ³	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5
Harina de Kril ¹	105.0	90.7	90.7	90.7	90.7	105.0	90.7	90.7	90.7	90.7	90.7	90.7	90.7
Metionina ²			0.4	1.4				0.4	0.4		0.4		0.4
Premezcla de minerales y vitaminas ¹	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	1.8	1.8	2.7	2.7
MgO ³	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3	11.6	11.6	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3
Fosfolípido ¹	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0
Metafosfato de sodio ⁵	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Aceite de soya ⁷			14.3	14.3				14.3	14.3		14.3		14.3
Harina de calamar ¹	150.0	136.1	136.1	136.1	136.1	150.0	136.1	136.1	136.1	136.1	136.1	136.1	136.1
Vitamina C ¹	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.34	0.5	0.5	0.5	0.5
Premezcla de minerales y vitaminas ¹	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	1.5	1.5	2.3	2.3
Almidón de trigo ²	300.1	242.8	412.9	411.9	162.4	232.5	248.6	418.6	413.1	244.5	414.6	287.1	456.1

¹Zeigler Brothers, Gardners, PA, EUA.²MP Biomedicals, Cleveland, OH, EUA.³Fisher Scientific, Fair Lawn, NJ, EUA.

Tabla 1. Continuación

⁴Sigma, St. Louis, MO, EUA.

⁵Keltone HV Alginate, NutraSweet-Kelco Company, Chicago, IL, EUA.

⁶Omega Protein Corporation Inc., Houston, TX, EUA.

⁷The J. M. Smucker Company, Orrville, OH, EUA.

^AVéase Apéndice A para la composición.

^B Véase Apéndice B para la composición.

Número de identificación de la dieta:

100 – Dieta de referencia del Proyecto de Maricultura de Camarón (A.L.L.)

101 – Dieta con contenido de proteína de 35%

102 – Dieta con contenido de proteína de 25%

103 – Dieta 102 con contenido de metionina elevado a 0.85%

104 – Dieta 101 con contenidos de ceniza y fibra elevados a 24 y 10%, respectivamente

105 – Dieta 101 con proporción de harina de calamar: harina de kril: harina de pescado ajustada a 15 : 10.5 : 15

106 – Dieta 101 con 1/3 menos de MgO₃

107 – Dieta 102 con 1/3 menos de MgO₃

108 – Dieta 102 con 1/3 menos de vitamina C

109 – Dieta 101 con 1/3 menos de vitaminas y minerales

110 – Dieta 102 con 1/3 menos de vitaminas y minerales

111 – Dieta 101 con 1/3 menos de Ca: P

112 – Dieta 102 con 1/3 menos de Ca: P

Origen de los organismos

Se obtuvieron postlarvas de *L. vannamei* libres de patógenos específicos del Instituto Oceanográfico (Kailua-Kona, HI) y se sembraron al aire libre en tanques de fibra de vidrio circulares con un diámetro de 8.0 m. Las postlarvas fueron alimentadas con nauplios de *Artemia sp.* y un alimento balanceado comercial (Rangen 45/10; Rangen Inc., Buhl, ID, EUA) dos y doce veces al día, respectivamente. Las postlarvas se mantuvieron en estas condiciones durante aproximadamente 8 semanas para permitir su aclimatación a condiciones de laboratorio ($30.4 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$, $32.6 \pm 0.3\%$) y alcanzar una talla apropiada para el experimento ($5.22 \text{ g} \pm 0.44$).

Sistema y diseño experimental

Se utilizó el mismo sistema experimental descrito en el **Bioensayo de inanición**, empleando las mismas tasas de recambio y recirculación de agua, fotoperíodo y monitorización de parámetros fisicoquímicos y desechos nitrogenados del agua de cultivo. Para dar inicio al experimento, se eliminó el exceso de agua de los organismos antes de pesarlos y sembrarlos individualmente en los tanques. Se asignaron al azar veinte organismos a cada dieta en la lista de la Tabla 1. Para suministrar el alimento se utilizaron alimentadores automáticos que distribuyeron la ración diaria en 15 porciones. Antes de llenar los alimentadores ($0.4 \text{ g dieta individuo}^{-1} \text{ día}^{-1}$) cada mañana con la dieta apropiada, el alimento no consumido, así como las heces y exuvias se retiraron de los tanques mediante sifoneo.

Fin del experimento y análisis estadístico

El experimento tuvo una duración de 7 semanas. Los camarones fueron enumerados y pesados individualmente separándose por tratamiento y tanque. El crecimiento fue evaluado mediante las siguientes mediciones: logaritmo del peso final y del peso ganado, porcentaje de supervivencia, porcentaje de crecimiento y tasa de crecimiento instantánea (TCI), siendo calculada esta última mediante la ecuación $\text{TCI} = 100 \times [\logaritmo(\text{peso final} / \text{peso inicial})] / \text{duración del experimento en días}$ (Cushing, 1968). Los datos se compararon utilizando el programa estadístico SPSS mediante Análisis de Varianza de una vía. La separación de promedios se realizó mediante la prueba Student-Newman-Keuls ($P < 0.05$).

Bioensayo de crecimiento y supervivencia

Dietas experimentales

Se prepararon dos dietas experimentales semi-purificadas repletas nutricionalmente en las instalaciones del Proyecto de Maricultura de Camarón, Estación Experimental de Agricultura de Tejas, Universidad de Tejas A&M, Puerto Aransas, Tejas, EUA. Una de ellas tuvo un contenido de proteína de 25% y un contenido de energía de 15.89 kJ g^{-1} , mientras que los contenidos de proteína y energía de la otra dieta fueron de 35% y 15.48

kJ g^{-1} , respectivamente. Su composición de ingredientes se muestra en las Tablas 2 y 3. La preparación, molienda y almacenamiento de las dietas hasta antes de su utilización se realizó de acuerdo a lo descrito en el *Bioensayo de inanición*.

Tabla 2. Composición de la dieta experimental con contenido de proteína de 25% y contenido energético de 15.89 kJ g^{-1} .

Ingrediente	Nivel de inclusión (g kg^{-1})	de Ingrediente	Nivel de inclusión (g kg^{-1})
Alginato ⁵	20.00	Premezcla de minerales y vitaminas ^{1, A}	2.70
Carbonato de calcio ²	14.60	MgO ³	17.30
Celulosa ⁴	13.83	Fosfolípido ¹	42.00
Colesterol ²	2.00	Metafosfato de sodio ³	10.00
Fosfato Dicálcio ²	65.60	Aceite de soya ⁷	14.33
Harina de pescado ⁶	136.11	Harina de calamar ¹	136.11
KCl ³	18.50	Vitamina C ¹	0.50
Harina de Kril ¹	90.74	Premezcla de minerales y vitaminas ^{1, B}	2.30
Metionina ²	0.43	Almidón de trigo ²	412.95
Ceniza (g kg^{-1})	181.14 ^a	Energía (kJ kg^{-1})	15899 ^a
Materia seca (g kg^{-1})	904.4 ^a	Proteína digerible (g kg^{-1})	208.4 ^a
Grasa (g kg^{-1})	9.01 ^a	Energía digerible (kJ kg^{-1})	13347 ^a
Proteína (g kg^{-1})	250.7 ^a	Proporción P: E (g/kJ) [*]	1.56 ^a

¹Zeigler Brothers, Gardners, PA, EUA.

²MP Biomedicals, Cleveland, OH, EUA.

³Fisher Scientific, Fair Lawn, NJ, EUA.

⁴Sigma, St. Louis, MO, EUA.

⁵Keltone HV Alginate, NutraSweet-Kelco Company, Chicago, IL, EUA.

⁶Omega Protein Corporation Inc., Houston, TX, EUA.

⁷The J. M. Smucker Company, Orrville, OH, EUA.

^AVéase Apéndice A para la composición.

^B Véase Apéndice B para la composición.

*Cálculo basado en proteína y energía digerible.

^aCálculo basado en alimento tal y como fue ofrecido.

Tabla 3. Composición de la dieta experimental con contenido de proteína de 25% y contenido energético de 15.48 kJ g⁻¹.

Ingrediente	Nivel de inclusión (g kg ⁻¹)	de Ingrediente	Nivel de inclusión (g kg ⁻¹)
Alginato ⁵	20.00	Harina de Kril ¹	90.74
Carbonato de calcio ²	14.60	Premezcla de minerales y vitaminas ^{1, A}	2.70
Celulosa ⁴	53.69	MgO ³	17.30
Colesterol ²	2.00	Fosfolípido ¹	42.00
Tierra de diatomeas ⁴	33.84	Metafosfato de sodio ³	10.00
Fosfato Dicálcio ²	65.60	Harina de calamar ¹	136.11
Harina de pescado ⁶	136.11	Vitamina C ¹	0.50
Aislado de soya (90%) ¹	111.12	Premezcla de minerales y vitaminas ^{1, B}	2.30
KCl ³	18.50	Almidón de trigo ²	242.88
Ceniza (g kg ⁻¹)	217.13 ^a	Energía (kJ kg ⁻¹)	15480 ^a
Materia seca (g kg ⁻¹)	906.7 ^a	Proteína digerible (g kg ⁻¹)	318.0 ^a
Grasa (g kg ⁻¹)	7.68 ^a	Energía digerible (kJ kg ⁻¹)	13221 ^a
Proteína (g kg ⁻¹)	352.6 ^a	Proporción P: E (g/kJ) [*]	2.40 ^a

¹Zeigler Brothers, Gardners, PA, EUA.

²MP Biomedicals, Cleveland, OH, EUA.

³Fisher Scientific, Fair Lawn, NJ, EUA.

⁴Sigma, St. Louis, MO, EUA.

⁵Keltone HV Alginate, NutraSweet-Kelco Company, Chicago, IL, EUA.

⁶Omega Protein Corporation Inc., Houston, TX, EUA.

^AVéase Apéndice A para la composición.

^B Véase Apéndice B para la composición.

*Cálculo basado en proteína y energía digerible.

^aCálculo basado en alimento tal y como fue ofrecido.

Origen de los organismos

Se obtuvieron postlarvas de *L. vannamei* libres de patógenos específicos del Instituto Oceanográfico (Kailua-Kona, HI) y se sembraron al aire libre en tanques de fibra de vidrio circulares con un diámetro de 2.44 m. Las postlarvas fueron alimentadas con nauplios de *Artemia sp.* y un alimento balanceado comercial (Rangen 45/10; Rangen Inc., Buhl, ID, EUA) dos y doce veces al día, respectivamente. Las postlarvas se mantuvieron en estas condiciones durante aproximadamente 8 semanas para permitir su aclimatación a condiciones de laboratorio (30.1 ± 0.5 °C, 32.2 ± 0.4‰) y alcanzar una talla apropiada para el experimento (5.47 g ± 0.29).

Sistema y diseño experimental

Se utilizó el mismo sistema experimental descrito en el *Bioensayo de inanición*, empleando las mismas tasas de recambio y recirculación de agua, fotoperíodo y monitorización de parámetros fisicoquímicos y desechos nitrogenados del agua de

cultivo. Para dar inicio al experimento, se eliminó el exceso de agua de los organismos antes de pesarlos y sembrarlos individualmente en los tanques. Se asignaron al azar veinte organismos a cada tasa de alimentación constante (Tabla 4) para ambas dietas experimentales semi-purificadas. Para suministrar el alimento se utilizaron alimentadores automáticos que distribuyeron la ración diaria en 15 porciones. Antes de llenar los alimentadores ($0.4 \text{ g dieta individuo}^{-1} \text{ día}^{-1}$) cada mañana con la dieta apropiada, el alimento no consumido, así como las heces y exuvias se retiraron de los tanques mediante sifoneo.

Tabla 4. Tasas de alimentación de los organismos expresadas en gramos de alimento por individuo por día y por semana.

Tratamiento	Gramos de alimento por individuo	
	Por día	Por semana
1	0.046	0.322
2	0.073	0.511
3	0.117	0.819
4	0.187	1.309
5	0.300	2.100
6	0.479	3.353
7	0.767	5.369
8	1.227	8.589
9	1.963	13.741
10	3.141	21.987

Colecta de muestras y análisis

Los organismos se pesaron individualmente cada semana durante todo el estudio. Se cosecharon después de siete semanas, se enumeraron y pesaron individualmente por tratamiento y tanque. Posteriormente se almacenaron en congelación y se les aplicó el análisis de composición corporal siguiendo los métodos descritos en el *Bioensayo de inanición*. Dicho análisis se aplicó también a una muestra inicial representativa de 20 organismos.

Análisis estadístico

Para determinar los requerimientos diarios de proteína y energía se aplicó análisis de regresión lineal entre los datos de crecimiento y composición corporal y los de proteína y energía ingeridas utilizando el método de línea quebrada (Robbins *et al.*, 1979). Los requerimientos para mantenimiento se determinaron extrapolando los datos de regresión a cero o nulo crecimiento.

Resultados

Bioensayo de inanición

Calidad de agua

Los promedios (\pm desviación estándar) de las concentraciones de $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ y pH fueron $0.05 \pm 0.02 \text{ mg L}^{-1}$, $0.09 \pm 0.02 \text{ mg L}^{-1}$, $1.48 \pm 1.11 \text{ mg L}^{-1}$ y 8.03 ± 0.02 , respectivamente. Los promedios (\pm desviación estándar) de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto fueron $30.2 \pm 0.47 \text{ }^\circ\text{C}$, $30.5 \pm 0.6\%$, y $5.99 \pm 0.44 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente.

Ecuaciones alométricas para composición corporal (camarones enteros)

La composición absoluta (i.e. g individuo⁻¹ o kJ individuo⁻¹) de *L. vannamei* siguió un comportamiento lineal a medida que el peso inicial se incrementó (Tabla 5), permitiendo el cálculo de ecuaciones alométricas para energía, proteína, ceniza y materia seca:

$$\text{Energía (kJ individuo}^{-1}\text{)} = 4.49 * W(\text{g})^{1.076} \quad (\text{R}^2 = 0.988) \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\text{Proteína (g individuo}^{-1}\text{)} = 0.157 * W(\text{g})^{1.103} \quad (\text{R}^2 = 0.993) \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$\text{Ceniza (g individuo}^{-1}\text{)} = 0.034 * W(\text{g})^{0.921} \quad (\text{R}^2 = 0.967) \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$\text{Materia seca (g individuo}^{-1}\text{)} = 0.236 * W(\text{g})^{1.047} \quad (\text{R}^2 = 0.991) \quad (\text{Ecuación 4})$$

Se observaron incrementos lineales similares en la composición corporal de *L. vannamei* cuando se analizó la composición corporal inicial con base en peso húmedo (Tabla 6), lo que permitió el cálculo de la siguiente ecuación alométrica para proteína:

$$\text{Proteína (\%)} = 15.67 * W(\text{g})^{0.103} \quad (\text{R}^2 = 0.995) \quad (\text{Ecuación 5})$$

No se observaron incrementos lineales en la composición corporal de *L. vannamei* con base en material seca (Tabla 7).

Ecuaciones alométricas para las pérdidas diarias de proteína y energía

Las pérdidas diarias de energía y proteína fueron calculadas para cada clase de talla después de 28 días de inanición mediante la regresión de los datos de pérdida de nutrientes y el peso corporal. El peso corporal (W) fue calculado como el promedio geométrico entre el peso inicial (T=0) y final (T=28). Para expresar los resultados en términos de peso corporal metabólico se ajustaron los datos a funciones log-log y luego se transformaron a la relación alométrica tomando el antilogaritmo. Las pérdidas diarias de energía y proteína pueden describirse mediante las siguientes funciones alométricas:

$$\text{Pérdida diaria de energía por individuo (kJ individuo}^{-1}\text{ día}^{-1}\text{)}: 0.155 * W(\text{g})^{0.87} \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$\text{Pérdida diaria de proteína por individuo (g individuo}^{-1}\text{ día}^{-1}\text{)}: 0.0045 * W(\text{g})^{0.92} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Las ecuaciones anteriores pueden utilizarse para expresar los pesos metabólicos para energía y proteína a través de las siguientes expresiones:

$$\text{Energía: (g)}^{0.87} \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$\text{Proteína: (g)}^{0.92} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Tabla 5. Efecto de la inanición sobre la composición corporal absoluta de cuatro distintas clases de talla de *L. vannamei*¹.

	Tiempo en días al sacrificio					% ganancia (pérdida) después de 28 Días
	0	7	14	21	28	
Peso promedio (g)	5.51±0.327	5.05±0.347	4.68±0.320	4.53±0.216	4.67±0.348	(15.24)
Ceniza (g individuo ⁻¹)	0.17±0.017	0.16±0.020	0.14±0.023	0.14±0.012	0.16±0.036	(5.88)
Materia seca (g individuo ⁻¹)	1.38±0.143	1.10±0.094	0.81±0.076	0.66±0.095	0.70±0.102	(49.27)
Energía (kJ individuo ⁻¹)	27.65±3.025	20.04±1.857	13.85±1.125	11.09±1.665	11.00±1.635	(60.21)
Proteína (g individuo ⁻¹)	1.02±0.107	0.85±0.078	0.59±0.059	0.45±0.086	0.43±0.045	(57.84)
Peso promedio (g)	7.19±0.320	6.81±0.342	6.49±0.484	6.09±0.280	6.16±0.239	(14.32)
Ceniza (g individuo ⁻¹)	0.20±0.015	0.19±0.014	0.20±0.029	0.20±0.016	0.20±0.024	0.00
Materia seca (g individuo ⁻¹)	1.87±0.148	1.57±0.106	1.31±0.177	0.97±0.077	0.93±0.082	(50.26)
Energía (kJ individuo ⁻¹)	37.95±3.522	29.75±2.167	22.93±3.250	15.52±1.736	14.94±1.539	(60.63)
Proteína (g individuo ⁻¹)	1.38±0.097	1.24±0.073	1.00±0.142	0.67±0.083	0.64±0.062	(53.62)
Peso promedio (g)	14.10±0.589	14.03±0.550	12.71±0.655	12.54±0.700	12.13±0.716	(13.97)
Ceniza (g individuo ⁻¹)	0.38±0.022	0.40±0.016	0.36±0.034	0.40±0.025	0.42±0.033	9.52
Materia seca (g individuo ⁻¹)	3.76±0.185	3.38±0.169	2.62±0.194	2.31±0.192	2.08±0.187	(44.68)
Energía (kJ individuo ⁻¹)	77.65±4.916	66.32±4.158	48.83±4.409	41.04±3.970	35.44±3.824	(54.36)
Proteína (g individuo ⁻¹)	2.89±0.129	2.75±0.161	2.11±0.179	1.75±0.206	1.50±0.192	(48.09)
Peso promedio (g)	16.59±1.016	16.17±0.842	14.97±0.679	14.73±1.008	13.95±1.049	(15.91)
Ceniza (g individuo ⁻¹)	0.47±0.030	0.47±0.045	0.46±0.024	0.46±0.047	0.43±0.075	(8.51)
Materia seca (g individuo ⁻¹)	4.44±0.246	3.86±0.308	3.22±0.197	2.79±0.276	2.35±0.234	(47.07)
Energía (kJ individuo ⁻¹)	91.88±5.372	76.40±7.091	61.55±4.184	51.34±5.464	41.88±3.999	(54.41)
Proteína (g individuo ⁻¹)	3.49±0.189	3.17±0.254	2.60±0.179	2.20±0.244	1.75±0.169	(49.86)

¹Promedios de 10 individuos ± desviación estándar.

Tabla 6. Efecto de la inanición sobre la composición corporal (peso húmedo) de cuatro distintas clases de talla de *L. vannamei*¹.

	Tiempo en días al sacrificio				% ganancia (pérdida) después de 28 Días
	7	14	7	14	
Peso promedio (g)					(20.69)
Ceniza (g individuo ⁻¹)					6.69
Materia seca (g individuo ⁻¹)					14.07
Energía (kJ individuo ⁻¹)					(54.10)
Proteína (g individuo ⁻¹)					(50.77)
Peso promedio (g)					(14.32)
Ceniza (g individuo ⁻¹)					16.79
Materia seca (g individuo ⁻¹)					14.72
Energía (kJ individuo ⁻¹)					(53.97)
Proteína (g individuo ⁻¹)					(45.98)
Peso promedio (g)					(13.97)
Ceniza (g individuo ⁻¹)					28.62
Materia seca (g individuo ⁻¹)					13.07
Energía (kJ individuo ⁻¹)					(46.97)
Proteína (g individuo ⁻¹)					(39.51)
Peso promedio (g)					(15.91)
Ceniza (g individuo ⁻¹)					7.42
Materia seca (g individuo ⁻¹)					13.60
Energía (kJ individuo ⁻¹)					(45.45)
Proteína (g individuo ⁻¹)					(40.44)

¹Promedios de 10 individuos \pm desviación estándar.

²Resultados expresados con base en peso húmedo.

Tabla 7. Efecto de la inanición sobre la composición corporal (peso seco) de cuatro distintas clases de talla de *L. vannamei*¹.

	Tiempo en días al sacrificio				% ganancia (pérdida) después de 28 Días
	14	7	14	7	
Peso promedio (g)					(15.24)
Ceniza (g individuo ⁻¹) ²					80.55
Humedad (%)					14.07
Energía (kJ g ⁻¹) ²					(21.55)
Proteína (%) ²					(16.14)
Peso promedio (g)					(14.32)
Ceniza (g individuo ⁻¹) ²					100.00
Humedad (%)					14.72
Energía (kJ g ⁻¹) ²					(20.87)
Proteína (%) ²					(7.24)
Peso promedio (g)					(13.97)
Ceniza (g individuo ⁻¹) ²					101.09
Humedad (%)					13.07
Energía (kJ g ⁻¹) ²					(17.28)
Proteína (%) ²					(5.97)
Peso promedio (g)					(15.91)
Ceniza (g individuo ⁻¹) ²					70.80
Humedad (%)					13.60
Energía (kJ g ⁻¹) ²					(13.77)
Proteína (%) ²					(5.37)

¹Promedios de 10 individuos ± desviación estándar.²Resultados expresados con base en peso seco.

Evaluación preliminar de las dietas experimentales
Calidad de agua

Los promedios (\pm desviación estándar) de las concentraciones de $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ y pH fueron $0.12 \pm 0.03 \text{ mg L}^{-1}$, $0.22 \pm 0.07 \text{ mg L}^{-1}$, $5.48 \pm 1.09 \text{ mg L}^{-1}$ y 8.01 ± 0.1 , respectivamente. Los promedios (\pm desviación estándar) de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto fueron $30.3 \pm 0.33 \text{ }^\circ\text{C}$, $31.6 \pm 0.5\text{‰}$ y $5.99 \pm 0.21 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente.

Crecimiento y supervivencia de L. vannamei alimentado con las dietas preliminares

Los resultados del experimento preliminar de crecimiento se muestran en la Tabla 8. Los organismos que recibieron la dieta 100 (dieta de referencia A.L.L.) tuvieron una respuesta en crecimiento (ln peso final, ln peso ganado, TCI y porcentaje de crecimiento) significativamente mayor ($P < 0.05$) que todos los otros organismos. La supervivencia fue alta (95-100%) para todos los tratamientos, sin existir diferencias significativas entre tratamientos. No se detectaron diferencias significativas entre las dietas con 25 y 30% de proteína (dietas 101 y 102, respectivamente) o entre éstas y las dietas comerciales Zeigler 35% Alta-densidad o Rangen 45/10 (dietas 114 y 113, respectivamente). Los ajustes dietéticos ($\pm 33\%$) con óxido de magnesio (dietas 106 y 107), con premezclas de vitaminas y minerales (dietas 109 y 110) o de la proporción Ca: P (dietas 111 y 112) no tuvieron un efecto significativo sobre las respuestas en crecimiento medidas, ya sea para la dieta basal de 35% de proteína o para la dieta con 25% de proteína. El ajuste del contenido de metionina a 0.85% (dieta 103) o la remoción de 33% de vitamina C (dieta 108) de la dieta con 25% de proteína tampoco tuvo un efecto significativo sobre el crecimiento. De forma similar, los ajustes de los contenidos de ceniza y fibra (dieta 104) o de la proporción de las harinas de calamar: krill: pescado (dieta 105) de la dieta con 35% de proteína no tuvieron un efecto significativo sobre el crecimiento.

Tabla 8. Respuestas de *L. vannamei* alimentado con las dietas preliminares.^{1,2}

Dieta	ln Peso final (g)	ln Peso ganado (g)	TCI	Porcentaje de crecimiento (%)	Supervivencia (%)
100	2.54 ^b (0.13)	2.26 ^b (0.35)	3.82 ^b (0.64)	384 ^b (70)	100 ^a (0)
101	2.32 ^a (0.19)	2.03 ^a (0.23)	3.31 ^a (0.40)	306 ^a (69)	100 ^a (0)
102	2.31 ^a (0.14)	2.03 ^a (0.19)	3.44 ^a (0.42)	332 ^a (78)	100 ^a (0)
103	2.31 ^a (0.15)	2.02 ^a (0.19)	3.33 ^a (0.40)	311 ^a (68)	100 ^a (0)
104	2.21 ^a (0.13)	1.90 ^a (0.17)	3.18 ^a (0.36)	285 ^a (60)	95 ^a (8.43)
105	2.30 ^a (0.15)	2.00 ^a (0.20)	3.26 ^a (0.40)	298 ^a (70)	95 ^a (8.43)
106	2.35 ^a (0.16)	2.01 ^a (0.28)	3.30 ^a (0.44)	307 ^a (72)	95 ^a (8.43)
107	2.34 ^a (0.21)	1.90 ^a (0.27)	3.04 ^a (0.44)	266 ^a (67)	100 ^a (0)
108	2.31 ^a (0.22)	2.06 ^a (0.22)	3.35 ^a (0.41)	313 ^a (67)	100 ^a (0)
109	2.23 ^a (0.19)	1.93 ^a (0.23)	3.19 ^a (0.39)	287 ^a (65)	95 ^a (8.43)
110	2.31 ^a (0.21)	2.02 ^a (0.26)	3.35 ^a (0.49)	318 ^a (94)	95 ^a (8.43)
111	2.27 ^a (0.14)	1.97 ^a (0.19)	3.26 ^a (0.42)	300 ^a (69)	100 ^a (0)
112	2.29 ^a (0.15)	1.99 ^a (0.22)	3.22 ^a (0.47)	293 ^a (76)	100 ^a (0)

113	2.32 ^a (0.15)	2.04 ^a (0.22)	3.38 ^a (0.43)	320 ^a (78)	100 ^a (0)
114	2.21 ^a (0.17)	1.89 ^a (0.22)	3.19 ^a (0.39)	287 ^a (63)	100 ^a (0)

¹Promedios de 20 réplicas (Desv. Est.)

²Los promedios con superíndices similares en una misma columna no son diferentes estadísticamente ($P > 0.05$)

Número de identificación de la dieta:

100 – Dieta de referencia del Proyecto de Maricultura de Camarón (A.L.L.)

101 – Dieta con contenido de proteína de 35%

102 – Dieta con contenido de proteína de 25%

103 – Dieta 102 con contenido de metionina elevado a 0.85%

104 – Dieta 101 con contenidos de ceniza y fibra elevados a 24 y 10%, respectivamente

105 – Dieta 101 con proporción de harina de calamar: harina de kril: harina de pescado ajustada a 15 : 10.5 : 15

106 – Dieta 101 con 1/3 menos de MgO₃

107 – Dieta 102 con 1/3 menos de MgO₃

108 – Dieta 102 con 1/3 menos de vitamina C

109 – Dieta 101 con 1/3 menos de vitaminas y minerales

110 – Dieta 102 con 1/3 menos de vitaminas y minerales

111 – Dieta 101 con 1/3 menos de Ca: P

112 – Dieta 102 con 1/3 menos de Ca: P

113 – Dieta comercial Rangén 45/15

114 – Dieta comercial Zeigler 35% Alta-Densidad

Bioensayo de crecimiento y supervivencia

Calidad de agua

Los promedios (\pm desviación estándar) de las concentraciones de NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N y pH fueron 0.09 ± 0.01 mg L⁻¹, 0.11 ± 0.03 mg L⁻¹, 3.74 ± 1.12 mg L⁻¹ y 8.01 ± 0.2 , respectivamente. Los promedios (\pm desviación estándar) de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto fueron 30.5 ± 0.41 °C, $30.8 \pm 0.4\%$ y 5.97 ± 0.39 mg L⁻¹, respectivamente.

Consumo aparente

Se realizó una regresión de los datos de la tasa de consumo y de crecimiento máximo para las dietas con 25 y 35% de proteína (Figuras 1 y 2, respectivamente) para determinar el consumo aparente. El consumo aparente para los camarones alimentados con la dieta con 25% de proteína fue de 0.32 g alimento día⁻¹ individuo⁻¹ y fue obtenido a partir de la ecuación de regresión: consumo aparente = $1383.57 + 42921.56x$ con un coeficiente de correlación (C) de 15287.77 como sigue: consumo aparente = $(C - B_0)/B_1$. El consumo aparente para los camarones alimentados con la dieta con 35% de proteína fue de 0.31 g alimento día⁻¹ individuo⁻¹ y fue obtenido a partir de la ecuación de regresión: consumo aparente = $415.17 + 50039.30x$ con un coeficiente de correlación (C) de 16189.82 como se describió anteriormente.

Eficiencias de conversión

Las eficiencias de conversión de proteína y energía se incrementaron con la tasa de alimentación hasta un valor de 0.063 g de proteína digerible (PD) individuo⁻¹ día⁻¹ (4.00 kJ Energía digerible (ED) individuo⁻¹ día⁻¹) para la dieta con 25% de proteína (Tabla 9) o hasta un valor de 0.095 g PD individuo⁻¹ día⁻¹ (3.96 kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹) para la dieta con 35% de proteína (Tabla 10); para luego disminuir progresivamente a medida que se incrementó la tasa de alimentación. La eficiencia de conversión de proteína para crecimiento máximo fue mejor para la dieta con 25% de proteína, pero la eficiencia de conversión de energía para crecimiento máximo para esta dieta fue menor. Las tasas de alimentación de proteína y energía digeribles que produjeron las mayor eficiencia de conversión de proteína y energía también produjeron el mejor factor de conversión alimenticia (FCA) y la mejor razón de eficiencia del alimento (REA) para la dieta con 35% de proteína (Tabla 11). Sin embargo, para la dieta con 25% de proteína los mejores FCA y REA fueron obtenidos cuando los organismos recibieron 0.039 g PD individuo⁻¹ día⁻¹ (2.49 kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹; Tabla 12). Decrementos similares del FCA y de la REA se observaron para ambas dietas a medida que las tasas de alimentación se incrementaron por arriba de los valores que produjeron el mejor crecimiento.

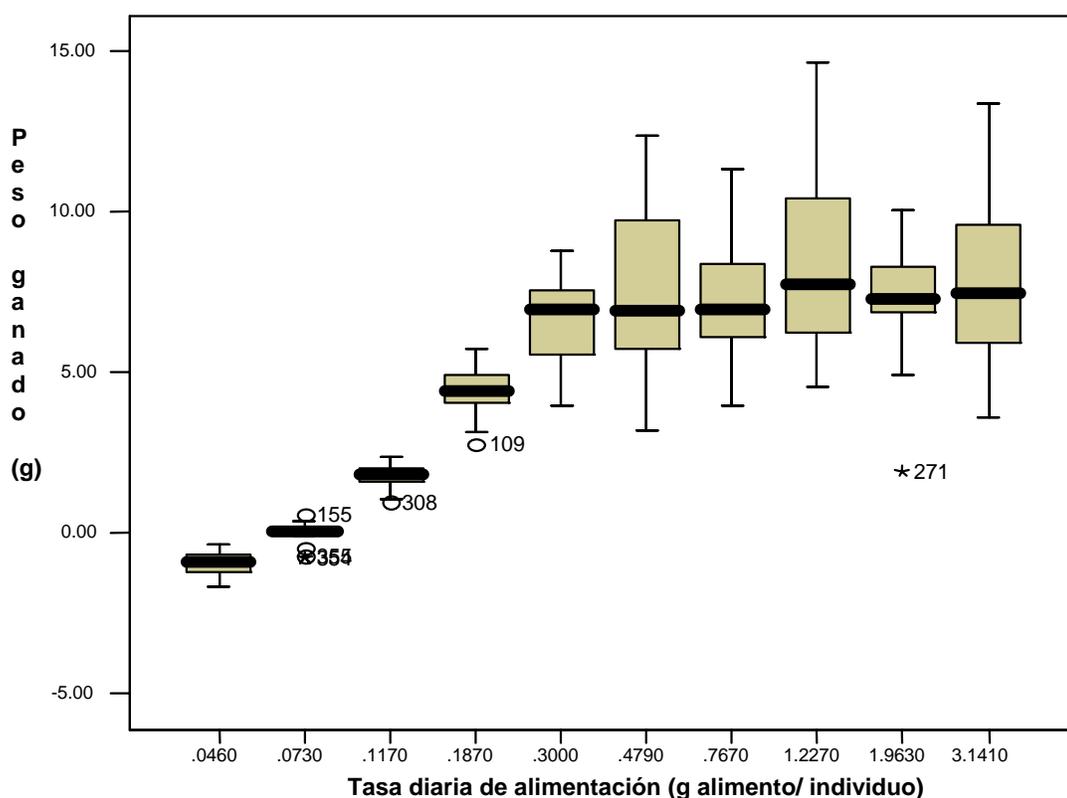


Figura 1. Peso ganado (g) vs. tasa diaria de alimentación (g alimento individuo⁻¹) para *Litopenaeus vannamei* alimentado con 25% de proteína, 15.89 kJ g⁻¹ alimento.

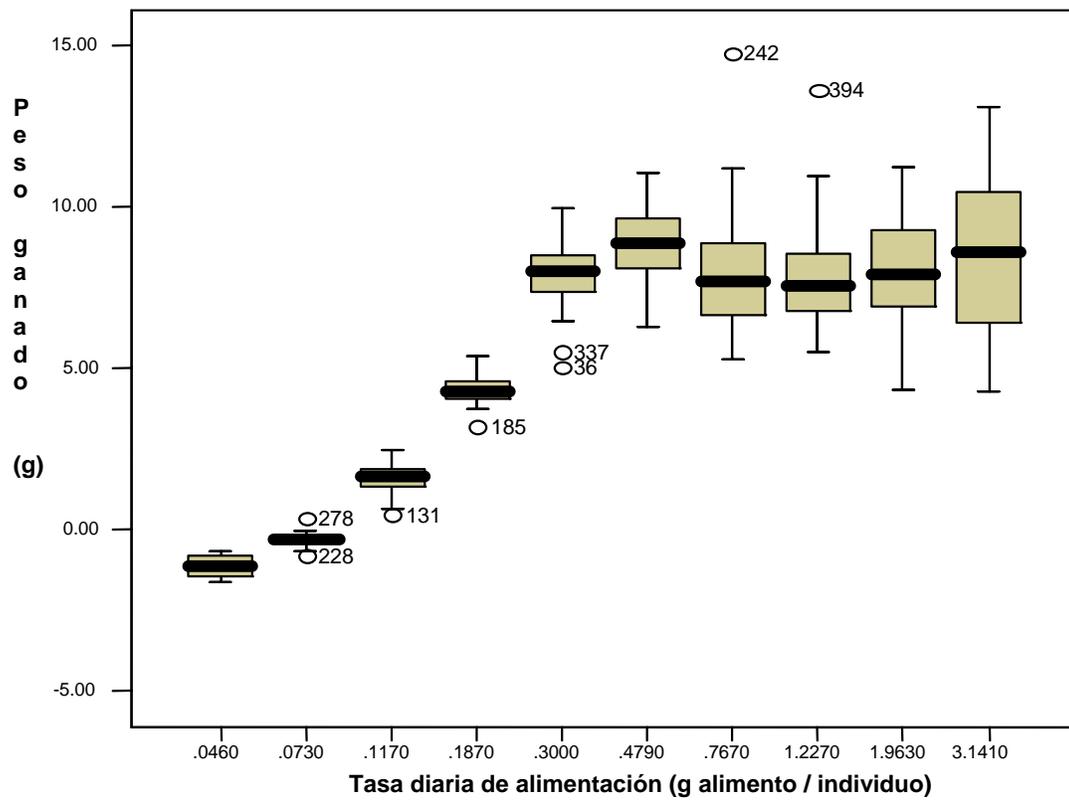


Figure 2. Peso ganado (g) vs. tasa diaria de alimentación (g alimento individuo⁻¹) para *Litopenaeus vannamei* alimentado con 35% de proteína, 15.48 kJ g⁻¹ alimento.

Tabla 9. Eficiencias de conversión de energía y proteína de *L. vannamei* alimentado con incrementos graduales de una dieta con 25% de proteína, 15.89 kJ g⁻¹ alimento¹.

Tasa diaria de alimentación			
Proteína (g PD individuo ⁻¹)	Energía (kJ ED individuo ⁻¹)	Eficiencia de conversión de energía ²	Eficiencias de conversión de proteína ³
0.000	0.00	0	0
0.010	0.615	-45.32	-96.09
0.015	0.974	-16.30	-25.53
0.024	1.564	0.60	12.80
0.039	2.497	10.86	34.61
0.063	4.008	12.63	35.95
0.100	6.401	9.60	26.36
0.160	10.250	5.72	15.68
0.256	16.397	4.13	11.41
0.409	26.233	2.33	6.38
0.655	41.978	1.48	4.06

¹Resultados basados en 20 individuos.

²Proteína corporal final-proteína corporal inicial x 100 (proteína suministrada total)⁻¹.

³Energía corporal final-energía corporal inicial x 100 (energía suministrada total)⁻¹.

Tabla 10. Eficiencias de conversión de energía y proteína de *L. vannamei* alimentado con incrementos graduales de una dieta con 35% de proteína, 15.48 kJ g⁻¹ alimento¹.

Tasa diaria de alimentación			
Proteína (g PD individuo ⁻¹)	Energía (kJ ED individuo ⁻¹)	Eficiencia de conversión de energía ²	Eficiencias de conversión de proteína ³
0.000	0.000	0	0
0.015	0.606	-50.29	-77.00
0.023	0.966	-20.06	-25.21
0.037	1.548	-2.33	3.76
0.059	2.472	11.77	25.78
0.095	3.966	15.45	30.64
0.152	6.334	11.81	22.55
0.244	10.142	6.31	12.32
0.390	16.225	4.05	7.73
0.624	25.957	2.75	5.14
0.999	41.534	1.74	3.31

¹Resultados basados en 20 individuos.

²Proteína corporal final-proteína corporal inicial x 100 (proteína suministrada total)⁻¹.

³Energía corporal final-energía corporal inicial x 100 (energía suministrada total)⁻¹.

Tabla 11. Crecimiento y supervivencia de *L. vannamei* alimentado con incrementos graduales de una dieta con 35% de proteína, 15.48 kJ g alimento⁻¹ durante 49 días.¹

Tasa diaria de alimentación		Peso final promedio (g)	Gramos semana ⁻¹	Supervivencia (%)	FCA ²	REA ³
Proteína (g PD individuo ⁻¹)	Energía (kJ ED individuo ⁻¹)					
0.000	0.000	4.31±0.279 ⁴	-0.29±0.040 ⁴	N/A	0	0
0.015	0.606	4.28±0.368	-0.17±0.050	65.0	-2.10	-0.52
0.023	0.966	5.05±0.304	-0.04±0.036	95.0	-15.34	-0.09
0.037	1.548	6.65±0.487	0.22±0.074	85.0	4.46	0.27
0.059	2.472	9.73±0.482	0.61±0.068	100	2.15	0.47
0.095	3.966	13.34±1.230	1.11±0.164	100	1.93	0.53
0.152	6.334	14.27±1.337	1.26±0.179	95.0	2.72	0.38
0.244	10.142	13.65±2.325	1.17±0.331	95.0	4.88	0.22
0.390	16.225	13.44±2.009	1.14±0.271	95.0	7.87	0.13
0.624	25.957	13.55±1.544	1.14±0.231	85.0	12.60	0.08
0.999	41.534	14.32±2.502	1.23±0.352	90.0	19.49	0.06

¹Promedios de 20 individuos ± desviación estándar.

²Factor de conversión de alimento = peso seco del alimento (peso húmedo ganado)⁻¹.

³Razón de eficiencia del alimento = peso húmedo ganado (peso seco del alimento)⁻¹.

⁴Medido a los 28 días.

Tabla 12. Crecimiento y supervivencia de *L. vannamei* alimentado con incrementos graduales de una dieta con 25% de proteína, 15.89 kJ g alimento⁻¹ durante 49 días.¹

Tasa diaria de alimentación		Peso final promedio (g)	Gramos semana ⁻¹	Supervivencia (%)	FCA ²	REA ³
Proteína (g PD individuo ⁻¹)	Energía (kJ ED individuo ⁻¹)					
0.000	0.000	4.31±0.279 ⁴	-0.29±0.040 ⁴	N/A	0	0
0.010	0.615	4.54±0.375	-0.14±0.050	80.0	-2.70	-0.43
0.015	0.974	5.57±0.366	-0.01±0.052	100	29.18	-0.01
0.024	1.564	7.11±0.408	0.25±0.053	90.0	3.38	0.31
0.039	2.497	9.91±0.694	0.64±0.107	90.0	2.11	0.49
0.063	4.008	12.10±1.434	0.94±0.208	95.0	2.35	0.45
0.100	6.401	13.06±2.530	1.08±0.366	100	3.49	0.32
0.160	10.250	12.45±1.742	1.01±0.245	95.0	5.63	0.19
0.256	16.397	13.84±2.801	1.19±0.393	100	7.99	0.14
0.409	26.233	12.67±1.856	1.03±0.261	90.0	15.26	0.07
0.655	41.978	13.17±2.763	1.10±0.385	90.0	22.69	0.05

¹Promedios de 20 individuos ± desviación estándar.

²Factor de conversión de alimento = peso seco del alimento (peso húmedo ganado)⁻¹.

³Razón de eficiencia del alimento = peso húmedo ganado (peso seco del alimento)⁻¹.

⁴Medido a los 28 días.

Requerimientos diarios aparentes de proteína digerible para crecimiento máximo y mantenimiento

Para la dieta con 25% de proteína los incrementos graduales de la tasa de alimentación produjeron incrementos lineales en el peso ganado hasta un valor de 0.065 g PD individuo⁻¹ día⁻¹ para camarones de 11.28 g de peso y hasta un valor de 0.069 g PD individuo⁻¹ día⁻¹ para camarones de 7.69 (Tabla 13). Las ecuaciones de regresión para las porciones de crecimiento lineal se describen de la siguiente manera, donde y = respuesta en crecimiento y x = tasa de alimentación en g PD: $y = -1.246 + 97.885x$ ($R^2 = 0.992$) y $y = -0.350 + 33.504x$ ($R^2 = 0.989$) para los camarones de 11.28 y 7.69 g de peso, respectivamente. Los requerimientos de PD para mantenimiento fueron de 0.009 g PD individuo⁻¹ día⁻¹ para camarones de 7.69 g y de 0.014 g PD individuo⁻¹ día⁻¹ para camarones de 13.08 g y se obtuvieron extrapolando los datos de regresión a un peso ganado de cero.

Tabla 13. Requerimientos aparentes de proteína (g PD individuo⁻¹ día⁻¹) por semana para crecimiento máximo y mantenimiento de *L. vannamei* alimentado con una dieta con 25% de proteína, 15.89 kJ g alimento⁻¹ obtenidos mediante la regresión de los datos de peso ganado y la proteína suministrada (g PD individuo⁻¹ día⁻¹).

No. de semanas	Requerimiento de proteína (g PD individuo ⁻¹ día ⁻¹)		Peso máximo promedio (g)
	Peso ganado máximo	Mantenimiento	
2	0.069	0.009	7.69
3	0.067	0.009	9.07
4	0.066	0.010	10.23
5	0.065	0.012	11.28
6	0.067	0.012	12.36
7	0.066	0.014	13.08
Promedio ¹	0.067±0.001	0.011±0.002	

¹Requerimiento de proteína promedio ± desviación estándar.

En respuesta al incremento de la tasa de alimentación, los camarones disminuyeron su porcentaje de ceniza y humedad corporal y aumentaron su contenido de proteína hasta que la tasa de alimentación llegó a 0.063 g PD individuo⁻¹ día⁻¹ (Tabla 14). Los incrementos de la tasa de alimentación por arriba de este valor tuvieron un efecto mínimo sobre las tasas de cambio de estos componentes corporales. Esto permitió estimar el requerimiento diario de PD para individuos de 13.08 g mediante la regresión de los cambios netos en proteína corporal y los incrementos en la tasa de alimentación de PD (Tabla 15). Los cambios netos en proteína corporal se incrementaron linealmente ($R^2 = 0.971$) con la tasa de alimentación de PD hasta un nivel de 0.066 g PD individuo⁻¹ día⁻¹ y se describen con la ecuación: $y = 0.027 + 31.559x$, donde y = cambio neto en proteína corporal y x = tasa de alimentación de PD en g PD. Los requerimientos de PD para mantenimiento se estimaron en 0.014 g PD individuo⁻¹ día⁻¹ para camarones de 13.08g de peso.

Los requerimientos diarios de PD para camarones que recibieron la dieta con 35% de proteína fueron mayores numéricamente que los de los organismos que recibieron 25%

de proteína. Los requerimientos diarios de PD para los organismos alimentados con 35% de proteína fueron de 0.083 g PD individuo⁻¹ día⁻¹ para camarones de 8.11 g y de 0.098 g PD individuo⁻¹ día⁻¹ para camarones de 13.79 g con la porción de crecimiento lineal descrita por las siguientes ecuaciones, donde y = respuesta en crecimiento y x = tasa de alimentación en g PD: $y = -0.715 + 36.512x$ ($R^2 = 0.984$) y $y = -2.736 + 101.979x$ ($R^2 = 0.990$), respectivamente (Tabla 16). Los requerimientos de PD para mantenimiento fueron de 0.017 g PD individuo⁻¹ día⁻¹ para camarones de 8.11g y de 0.024 g PD individuo⁻¹ día⁻¹ para camarones de 13.79 g, los cuales fueron mayores a los de los organismos alimentados con 25% de proteína.

Tabla 14. Composición corporal de *L. vannamei* alimentado con incrementos graduales de una dieta con 25% de proteína, 15.89 kJ g alimento⁻¹ durante 49 días.¹

Tasa diaria de alimentación					
Proteína (g PD individuo ⁻¹)	Energía (kJ ED individuo ⁻¹)	Materia seca (g individuo ⁻¹)	Energía (kJ individuo ⁻¹) ²	Proteína (g individuo ⁻¹) ²	Ceniza (g individuo ⁻¹) ²
0.000	0.00	0.613±0.070 ³	9.752±1.230 ³	0.416±0.062 ³	0.129±0.013 ³
0.010	0.615	0.675±0.110	11.413±1.820	0.475±0.082	0.134±0.022
0.015	0.974	1.041±0.096	18.388±1.876	0.789±0.080	0.163±0.011
0.024	1.564	1.539±0.117	28.208±2.476	1.202±0.108	0.223±0.010
0.039	2.497	2.280±0.144	43.484±2.928	1.813±0.123	0.296±0.031
0.063	4.008	2.935±0.334	57.182±6.656	2.343±0.249	0.366±0.054
0.100	6.401	3.254±0.634	63.500±12.899	2.569±0.508	0.378±0.056
0.160	10.250	3.126±0.501	61.847±10.853	2.495±0.411	0.344±0.049
0.256	16.397	3.448±0.658	67.136±12.355	2.738±0.508	0.424±0.093
0.409	26.233	3.196±0.571	63.249±11.945	2.557±0.462	0.355±0.061
0.655	41.978	3.234±0.628	63.877±12.568	2.585±0.507	0.398±0.105
Inicial		1.329±0.122	25.451±2.489	0.957±0.071	0.160±0.019

¹Promedios de 20 individuos ± desviación estándar.

²Resultados expresados con base en peso seco.

³Resultados basados en 28 días de inanición.

Tabla 15. Requerimiento aparente de proteína (PD individuo⁻¹ día⁻¹) para crecimiento máximo y mantenimiento de *L. vannamei* alimentado con una dieta con 25% de proteína, 15.89 kJ g alimento⁻¹ obtenido mediante la regresión de los datos de proteína corporal y la proteína suministrada (g PD individuo⁻¹ día⁻¹).

No. de semanas	Requerimiento de proteína (g PD individuo ⁻¹ día ⁻¹)		Peso máximo promedio (g)
	Peso ganado máximo	Mantenimiento	
7	0.066	0.014	13.08

Tabla 16. Requerimientos aparentes de proteína (g PD individuo⁻¹ día⁻¹) por semana para crecimiento máximo y mantenimiento de *L. vannamei* alimentado con una dieta con 35% de proteína, 15.48 kJ g alimento⁻¹ obtenidos mediante la regresión de los datos de peso ganado y la proteína suministrada (g PD individuo⁻¹ día⁻¹).

No. de semanas	Requerimiento de proteína (g PD individuo ⁻¹ día ⁻¹)		Peso máximo promedio (g)
	Peso ganado máximo	Mantenimiento	
2	0.083	0.017	8.11
3	0.083	0.021	9.60
4	0.086	0.021	10.92
5	0.095	0.021	12.08
6	0.096	0.023	13.01
7	0.098	0.024	13.79
Promedio ¹	0.090±0.007	0.021±0.002	

¹Requerimiento de proteína promedio ± desviación estándar.

A medida que se incrementó la tasa de alimentación de 0.015 a 0.095 g PD individuo⁻¹ día⁻¹, los camarones disminuyeron su porcentaje de ceniza y humedad corporal y aumentaron su contenido de proteína (Tabla 17). Los camarones que recibieron más de 0.095 g PD individuo⁻¹ día⁻¹ tuvieron incrementos mínimos del porcentaje de ceniza, humedad y proteína, lo que permitió estimar el requerimiento diario de PD para individuos de 13.79 g mediante la regresión de los cambios netos en proteína corporal y los incrementos en la tasa de alimentación de PD (Tabla 18). Los incrementos en la tasa de alimentación provocaron un incremento lineal ($R^2 = 0.995$) de la proteína corporal hasta una tasa de alimentación de 0.098 g PD individuo⁻¹ día⁻¹, que se describen con la ecuación: $y = 0.083 + 24.729x$, donde y = cambio neto en proteína corporal y x = tasa de alimentación de PD en g PD. Los requerimientos de PD para mantenimiento se estimaron en 0.030 g PD individuo⁻¹ día⁻¹ para camarones de 13.79 g de peso.

Requerimientos diarios aparentes de energía digerible para crecimiento máximo y mantenimiento

Para la dieta con 25% de proteína los incrementos graduales de la tasa de alimentación produjeron incrementos lineales en el peso ganado hasta un valor de 4.171 kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹ para camarones de 11.28 g de peso y hasta un valor de 4.422 kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹ para camarones de 7.69 (Tabla 19). Las ecuaciones de regresión para las porciones de crecimiento lineal se describen de la siguiente manera, donde y = respuesta en crecimiento y x = tasa de alimentación en kJ ED: $y = -1.246 + 6386.905x$ ($R^2 = 0.992$) y $y = -0.350 + 2186.113x$ ($R^2 = 0.989$) para los camarones de 11.28 y 7.69 g de peso,

respectivamente. Los requerimientos de ED para mantenimiento fueron de 0.564 kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹ para camarones de 9.07 g y de 0.887 kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹ para camarones de 13.08 g.

En respuesta al incremento de la tasa de alimentación, los camarones disminuyeron su porcentaje de ceniza y humedad corporal y aumentaron su contenido de energía hasta que la tasa de alimentación llegó a 4.008 kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹ (Tabla 14). Los incrementos de la tasa de alimentación por arriba de 4.008 kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹ tuvieron un efecto mínimo sobre la energía corporal, lo que permitió estimar el requerimiento diario de ED para individuos de 13.08 g mediante la regresión de los cambios netos en proteína corporal y los incrementos en la tasa de alimentación de ED (Tabla 20). Los incrementos en la tasa de alimentación produjeron un incremento lineal ($R^2 = 0.971$) de la energía corporal hasta un nivel de 4.330 kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹ y se describen con la ecuación: $y = 1383.568 + 12152.384x$, donde y = cambio neto en energía corporal y x = tasa de alimentación en kJ de ED. Los requerimientos de ED para mantenimiento se estimaron en 0.891 kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹ para camarones de 13.08g de peso.

Tabla 17. Composición corporal de *L. vannamei* alimentado con incrementos graduales de una dieta con 35% de proteína, 15.48 kJ g alimento⁻¹ durante 49 días.¹

Tasa diaria de alimentación					
Proteína (g PD individuo ⁻¹)	Energía (kJ ED individuo ⁻¹)	Materia seca (g individuo ⁻¹)	Energía (kJ individuo ⁻¹) ²	Proteína (g individuo ⁻¹) ²	Ceniza (g individuo ⁻¹) ²
0.000	0.000	0.613±0.070 ³	9.752±1.230 ³	0.416±0.062 ³	0.129±0.013 ³
0.015	0.606	0.595±0.071	10.112±1.673	0.406±0.062	0.132±0.016
0.023	0.966	0.943±0.076	16.551±1.451	0.700±0.069	0.156±0.011
0.037	1.548	1.401±0.104	25.593±2.100	1.094±0.100	0.217±0.025
0.059	2.472	2.321±0.549	44.358±10.890	1.851±0.424	0.320±0.073
0.095	3.966	3.214±0.365	62.818±7.623	2.606±0.316	0.370±0.044
0.152	6.334	3.584±0.296	70.558±5.619	2.884±0.223	0.428±0.055
0.244	10.142	3.286±0.592	64.400±11.451	2.651±0.489	0.393±0.069
0.390	16.225	3.309±0.473	65.383±9.275	2.657±0.383	0.405±0.080
0.624	25.957	3.468±0.409	68.579±8.317	2.761±0.326	0.405±0.050
0.999	41.534	3.519±0.573	70.023±11.878	2.847±0.488	0.390±0.065
Inicial		1.329±0.122	25.451±2.489	0.957±0.071	0.160±0.019

¹Promedios de 20 individuos ± desviación estándar.

²Resultados expresados con base en peso seco.

³Resultados basados en 28 días de inanición.

Tabla 18. Requerimiento aparente de proteína (PD individuo⁻¹ día⁻¹) para crecimiento máximo y mantenimiento de *L. vannamei* alimentado con una dieta con 35% de proteína, 15.48 kJ g alimento⁻¹ obtenido mediante la regresión de los datos de proteína corporal y la proteína suministrada (g PD individuo⁻¹ día⁻¹).

No. de semanas	Requerimiento de proteína (g PD individuo ⁻¹ día ⁻¹)		Peso máximo promedio (g)
	Peso ganado máximo	Mantenimiento	
7	0.098	0.030	13.79

Tabla 19. Requerimientos aparentes de energía (kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹) por semana para crecimiento máximo y mantenimiento de *L. vannamei* alimentado con una dieta con 25% de proteína, 15.89 kJ g alimento⁻¹ obtenidos mediante la regresión de los datos de peso ganado y la energía suministrada (kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹).

No. de semanas	Requerimiento de energía (kJ ED individuo ⁻¹ día ⁻¹)		Peso máximo promedio (g)
	Peso ganado máximo	Mantenimiento	
2	4.426	0.606	7.69
3	4.276	0.564	9.07
4	4.250	0.644	10.23
5	4.171	0.736	11.28
6	4.292	0.782	12.36
7	4.238	0.887	13.08
Promedio ¹	4.275±0.083	0.703±0.121	

¹Requerimiento de energía promedio ± desviación estándar.

Tabla 20. Requerimiento aparente de energía (kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹) para crecimiento máximo y mantenimiento de *L. vannamei* alimentado con una dieta con 25% de proteína, 15.89 kJ g alimento⁻¹ obtenido mediante la regresión de los datos de cambio en energía corporal y la energía suministrada (kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹).

No. de semanas	Requerimiento de energía (kJ ED individuo ⁻¹ día ⁻¹)		Peso máximo promedio (g)
	Peso ganado máximo	Mantenimiento	
7	4.330	0.891	13.08

Para la dieta con 35% de proteína, los requerimientos diarios de ED se estimaron en 3.460 kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹ para camarones de 9.60 y de 4.091 kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹ para camarones de 13.79 g, siendo descritos por las ecuaciones $y = -1.367 + 6036.066x$ ($R^2 = 0.989$) y $y = 2.736 + 10260.754x$ ($R^2 = 0.990$), respectivamente (Tabla 21), donde y = cambio neto en energía corporal y x = tasa de alimentación en kJ de ED. Los requerimientos de ED para mantenimiento fueron de 0.740 kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹ para camarones de 8.11g y de 1.012 kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹ para camarones de 13.79 g, los cuales fueron mayores a los de los organismos alimentados con 25% de proteína.

Tabla 21. Requerimientos aparentes de energía (kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹) por semana para crecimiento máximo y mantenimiento de *L. vannamei* alimentado con una dieta con 35% de proteína, 15.48 kJ g alimento⁻¹ obtenidos mediante la regresión de los datos de peso ganado y la energía suministrada (kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹).

No. de semanas	Requerimiento de energía (kJ ED individuo ⁻¹ día ⁻¹)		Peso máximo promedio (g)
	Peso ganado máximo	Mantenimiento	
2	3.476	0.740	8.11
3	3.460	0.861	9.60
4	3.581	0.878	10.92
5	3.974	0.882	12.08
6	4.012	0.945	13.01
7	4.091	1.012	13.79
Promedio ¹	3.765±0.288	0.886±0.092	

¹Requerimiento de energía promedio ± desviación estándar.

El porcentaje de ceniza y humedad corporal disminuyeron, en tanto que la energía corporal aumentó a medida que se incrementó la tasa de alimentación hasta un nivel de 3.966 kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹ (Tabla 17). Las tasas de alimentación de entre 3.966 y 41.534 kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹ únicamente produjeron incrementos mínimos de la energía corporal, lo que permitió estimar el requerimiento diario de ED para individuos de 13.79 g mediante la regresión de los cambios netos en energía corporal y los incrementos en la tasa de alimentación de ED (Tabla 22). La energía corporal se incrementó linealmente ($R^2 = 0.995$) con la tasa de alimentación hasta un valor de 4.167 kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹, comportamiento descrito por la ecuación: $y = 918.932 + 13323.856x$, donde y = cambio neto en energía corporal y x = tasa de alimentación en kJ de ED. Los requerimientos de ED para mantenimiento se estimaron en 1.096 kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹ para camarones de 13.79 g de peso.

Tabla 22. Requerimiento aparente de energía (kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹) para crecimiento máximo y mantenimiento de *L. vannamei* alimentado con una dieta con 35% de proteína, 15.48 kJ g alimento⁻¹ obtenido mediante la regresión de los datos de cambio en energía corporal y la energía suministrada (kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹).

No. de semanas	Requerimiento de energía (kJ ED individuo ⁻¹ día ⁻¹)		Peso máximo promedio (g)
	Peso ganado máximo	Mantenimiento	
7	4.167	1.096	13.79

Discusión

Bioensayo de inanición

Calidad de agua

De acuerdo a la literatura, los niveles de amonio y nitritos deben mantenerse debajo de 2.37 y 2.04 mg L⁻¹, respectivamente (Chen and Lin 1991), para evitar su efecto tóxico. Efectivamente, los niveles de estos compuestos se mantuvieron muy por debajo de dichos niveles, lo que sugiere que el experimento transcurrió bajo condiciones óptimas de calidad de agua.

Ecuaciones alométricas para composición corporal (camarones enteros)

Los contenidos absolutos de energía, proteína, ceniza y materia de los camarones se incrementaron linealmente con el crecimiento (5.51 a 16.59 g) (ecuaciones 1, 2, 3 y 4, respectivamente), mientras que únicamente el contenido de proteína (g 100 g⁻¹ peso vivo) se incrementó linealmente (ecuación 5) con el crecimiento medido con base en peso húmedo. No existe información previa sobre estos aspectos para camarones peneidos, pero las ecuaciones alométricas realizadas para carpa (Pfeffer and Potthast, 1977), trucha (Pfeffer and Potthast, 1977) y zapata morisca (*Sparus aurata*) (Lupatsch *et al.*, 1998) sugieren que el contenido de proteína por kilogramo de organismos vivo no cambia significativamente con la talla, en tanto que el contenido de lípido decrece. Los camarones tienen muy poca capacidad para almacenar lípidos fuera del hepatopáncreas, mientras que los peces pueden depositar reservas de lípido en varios tejidos a medida que alcanzan la madurez. Esta diferencia fisiológica puede explicar por qué se observó un incremento lineal en el contenido de proteína (ecuación 5) a medida que los organismos crecieron. Sin embargo, actualmente no se conoce el efecto que podría tener la madurez sexual sobre la naturaleza lineal de esta relación.

Ecuaciones alométricas para las pérdidas diarias de proteína y energía

La relación entre los cambios de energía y la talla corporal (ecuación 6) para *L. vannamei* mantenido a 30°C pudo describirse más adecuadamente al elevar el peso corporal al exponente 0.87 (ecuación 8). No se habían realizado estudios de la pérdida de energía de camarones durante períodos de inanición para determinar el exponente b del peso metabólico ($a \times BW(g)^b$), el cual es proporcional a los requerimientos de energía para mantenimiento. No obstante, las relaciones del peso corporal metabólico se han determinado comúnmente para peces (Cui y Liu, 1990; Cho 1992; Lupatsch *et al.*, 1998; Lupatsch *et al.*, 2003). El exponente al referencia más comúnmente es 0.80 (Brett y Groves, 1979); sin embargo, existen valores que oscilan entre 0.824 para la trucha (Cho 1992) y 0.86 para el bagre africano (Hogendoorn, 1983). El valor obtenido en este estudio para *L. vannamei* (0.87) es cercano a los obtenidos por Cui y Liu (1990) para 6 distintas especies de teleósteos (0.855) y por Hogendoorn (1983) para el bagre africano (0.86). No obstante, la pérdida diaria de energía durante la inanición para *L. vannamei* fue aproximadamente seis veces mayor que para el bagre africano al considerar un peso metabólico común de (kg)^{0.86}. Esta pérdida de energía puede atribuirse a la ineficiencia energética que representa utilizar la proteína como fuente de energía, en contraste con el uso de lípidos para este fin en el caso de los peces. Así mismo, la pérdida de energía en el caso de los camarones también es atribuida al proceso de muda (~1.4 kJ por muda; Read y Caulton, 1980), así como a la expulsión de una membrana peritrófica en organismos no alimentados (datos no publicados, en Cordova-Murueta *et al.*, 2003). Estas diferencias fisiológicas pueden ayudar a explicar por qué *L. vannamei* no puede sobrevivir períodos de inanición mayores de 28 días, en tanto que el bagre de canal típicamente puede soportar períodos de inanición de hasta 56 días sin experimentar mortalidades significativas (Gatlin *et al.*, 1986).

La relación entre los cambios en el contenido de proteína y el peso corporal (ecuación 7) es descrito al elevar el peso corporal al exponente 0.92 (ecuación 9). Pocos estudios se han realizado para determinar este valor en peces (Beck, 1987; Lupatsch *et al.*, 1998), mientras que no hay antecedentes publicados para camarones. Dichos valores oscilan entre 0.70 para la zapata morisca (Lupatsch *et al.*, 1998) y 0.739 para la trucha (Beck, 1987), mientras que el valor obtenido en este estudio sugiere que los camarones tienen un peso metabólico corporal de proteína mayor, el cual puede atribuirse a una habilidad limitada para almacenar lípidos y carbohidratos en su cuerpo. La diferencia entre los exponentes de las ecuaciones de pérdida de proteína y energía en camarones (0.92, 0.87; respectivamente) están más cercanas que aquellas obtenidas para la mayoría de los estudios con peces (0.70, 0.80; respectivamente), lo que indica aún más la importancia de las proteínas como fuente de energía para los camarones durante períodos de inanición.

Evaluación preliminar de las dietas experimentales

Calidad de agua

Los valores de los parámetros de calidad de agua se mantuvieron en niveles óptimos durante las 6 semanas de experimento.

Crecimiento y supervivencia de *L. vannamei* alimentado con las dietas preliminares

La falta de diferencias significativas entre las dietas con 25 y 35% de proteína y las dietas comerciales sugiere que las dietas experimentales pudieron utilizarse para el estudio de requerimientos diarios de proteína y energía, los cuales son aplicables a las dietas comerciales bajo las mismas condiciones experimentales. De forma similar, la falta de diferencias significativas en el crecimiento cuando se realizaron ajustes en los niveles de magnesio, vitaminas, minerales, vitamina C, y calcio y fósforo de las dietas con 25 y 35% de proteína sugiere que estos nutrientes no se agregaron en niveles limitados o en exceso tal que afectaran el crecimiento y la determinación de los requerimientos diarios. Las diferencias en crecimiento observadas para la dieta de referencia (A.L.L.) y las dietas comerciales indicaban su exclusión del estudio de requerimientos, esta dieta se utilizó para las pruebas de digestibilidad debido a su probado desempeño y alta atractabilidad.

Bioensayo de crecimiento y supervivencia

Calidad de agua

Los valores de los parámetros de calidad de agua se mantuvieron en niveles óptimos durante las 7 semanas de experimento.

Consumo aparente

Se ha sugerido que el contenido de energía digerible es un factor de suma importancia que controla la ingesta en peces (Page y Andrews, 1973; Boonyaratpalin 1978; Wilson *et al.*, 1985; Gatlin *et al.*, 1986; Boujard y Medale 1994; Kentouri *et al.*, 1995; Paspatis y Boujard, 1996; Lupatsch *et al.*, 1998; Lupatsch *et al.*, 2001), así como en camarones (Davis *et al.*, 1995). El consumo aparente similar de las dietas con 25 y 35% (0.32 y 0.31 g alimento día⁻¹ individuo⁻¹; Figuras 1 y 2, respectivamente) indica que *L. vannamei* regula el consumo de alimento para satisfacer un requerimiento energético y no para satisfacer un requerimiento proteico, como habían sido sugerido por Kureshy y Davis (2002).

Esta aparente habilidad para consumir alimento hasta satisfacer un requerimiento energético puede explicar resultados contradictorios de estudios con alimentación *ad-libitum*, en los que se ha intentado determinar requerimientos óptimos de proteína, así como de otros nutrientes para *L. vannamei* y otras especies de camarones peneidos. En los estudios con alimentación *ad-libitum* que han utilizado dietas con bajo contenido de energía digerible, éstas serían consumidas en mayor cantidad en comparación con dietas con más altos niveles energéticos, lo que podría conducir a la estimación de distintos requerimientos aparentes de energía. Ya que pocos, si no es que ninguno, de estos estudios ha reportado la energía digerible de la dieta o medido el consumo, existe la posibilidad de que muchos estudios de requerimientos nutricionales necesiten ser reevaluados para determinar su exactitud.

Por otra parte, en los estudios con alimentación *ad-libitum* que han reportado la energía digerible de la dieta se debe tener en cuenta que hay un potencial en la reducción de la ingesta de la dieta por otros componentes además de la energía. Page y Andrews (1973) reportaron una reducción en la ingesta de la dieta en el bagre de canal alimentado con incrementos del nivel de fibra, mientras que Bromley y Adkins (1984) observaron reducciones similares en la ingesta en trucha arco iris alimentadas con dietas con contenido de celulosa mayor de 30%. Estos hallazgos sugieren que un organismo solo puede incrementar la ingesta de alimento hasta alcanzar un llenado de su tracto digestivo, a un punto tal que no puedan consumir alimento adicional para compensar la ingesta de una dieta baja en energía. Los estudios con alimentación *ad-libitum* de *L. vannamei* sugieren que los niveles de ceniza y fibra pueden incrementarse a 25 y 15%, respectivamente, sin causar una reducción significativa del crecimiento. Sin embargo, en un estudio que involucró el uso de una dieta con 45.4% de ceniza, se reportó una reducción significativa del crecimiento (datos no publicados, Texas A&M Shrimp Mariculture Facility). Hasta el momento en que se perfeccione la habilidad para determinar el consumo aparente, los estudios con *L. vannamei* deberían reportar la energía dietética digerible, así como utilizar el método de modelación factorial (i.e., la estrategia de aplicar incrementos graduales en la tasa de alimentación) para determinar un consumo aparente y permitir comparaciones más uniformes entre estudios distintos.

Eficiencias de conversión

La eficiencia de conversión de proteína para crecimiento máximo fue más eficiente para la dieta con 25% de proteína (35.9%; Tabla 9), en comparación con la de 35% (30.6%; Tabla 10), pero el crecimiento fue menor en el caso de la dieta con menor contenido proteico. Esto sugiere que los organismos que consumieron la dieta con 25% de proteína carecieron de una cantidad suficiente de proteína ingerida para alcanzar la misma tasa de crecimiento que los camarones alimentados con 35% de proteína, pero también significa que usaron la proteína disponible más eficientemente para el crecimiento, y no la energía, en comparación con los organismos que recibieron 35% de proteína. Esta asignación de la proteína dietética para crecimiento y energía también puede examinarse a través de una comparación de la eficiencia de conversión de energía. Los organismos que consumieron 35% de proteína tuvieron una eficiencia de conversión de energía (15.5%) mayor que la de los organismos alimentados con 25% de proteína (12.6%). Esto también sugiere que la dieta con 35% de proteína estaba sobre-formulada en términos de contenido proteico (i.e. limitada en energía no proteica), mientras que la dieta con 25% de proteína tenía una cantidad limitada de proteína debido a un exceso de energía no proteica. Estos hallazgos fortalecen el postulado de que *L. vannamei* ingiere alimento para satisfacer un requerimiento energético. Con base en estos resultados, tal parece que para optimizar la utilización de proteína para crecimiento, sería necesario disminuir la energía digerible de la dieta con 25% de proteína para incrementar su consumo. Alternativamente, sería necesario disminuir la proteína digerible de la dieta con 35% de proteína manteniendo la misma ED. Los altos niveles de ceniza (22%) y fibra (10%) ya contenidos en estas dietas podrían interferir en el intento de disminuir aún más la energía digerible sin exceder la capacidad gástrica de los organismos, por lo que sería más prudente reducir el nivel de proteína de la dieta con 35% de proteína para alcanzar un nivel óptimo de la proporción proteína/energía (P/E) donde se maximizara el uso de la proteína para crecimiento.

La habilidad para optimizar esta proporción dependerá, en gran medida, de la fisiología nutricional de *L. vannamei*, pues los estudios previos indican que *L. vannamei*, como muchos otros crustáceos, prefiere utilizar la proteína como fuente de energía, aún cuando se suministren niveles adecuados de energía no proteica (Scheer y Scheer 1951; Scheer *et al.*, 1952; Huggins y Munday 1968; Lee y Lawrence 1997). De cualquier modo, estas conclusiones se basan en diferencias en peso ganado, FCA, REA medidas para *L. vannamei* alimentado con distintos niveles de proteína sin hacer alusión a la eficiencia de conversión de proteína y energía. Si bien el presente estudio demostró que la proteína ingerida se utilizó más eficientemente para la dieta con 25% de proteína, se obtuvieron mejores valores de FCA y REA para la dieta con 35% de proteína (Tablas 12 y 11, respectivamente). Esta anomalía aparente ocurre porque, como se ha mencionado, los organismos consumen alimento para satisfacer un requerimiento energético, y por consiguiente no pueden ingerir suficiente cantidad del alimento con 25% de proteína para maximizar su ingesta de proteína, mientras que aquellos camarones que consumen el alimento con 35% de proteína ingieren este nutriente en exceso, lo que les permite

obtener un crecimiento máximo, pero este nutriente también es utilizado como fuente de energía, reduciendo su eficiencia de conversión. Por todo lo anterior, es aparente que la optimización de la proporción P/E es necesaria para reducir costos y desechos nitrogenados a través del uso de la proteína para crecimiento y no como fuente de energía.

Requerimientos diarios aparentes de proteína digerible para crecimiento máximo y mantenimiento

El promedio del requerimiento diario aparente de PD para organismos de 7.69 a 13.08 g de peso fue de 0.067 g PD individuo⁻¹ día⁻¹ (6.31 g PD kg⁻¹ PCH d⁻¹) para la dieta con 25% de proteína, mientras que el cálculo realizado con la dieta de 35% de proteína fue de 0.090 g PD individuo⁻¹ día⁻¹ (8.00 g PD kg⁻¹ PCH d⁻¹) para individuos de 8.11 a 13.79 g de peso. La diferencia en el requerimiento diario aparente de PD puede explicarse con base en la utilización de la dieta como fuente de energía en el caso del nivel proteico de 35%, el cual produjo un requerimiento aparente elevado por causa de un costo metabólico alto de la conversión de proteína a energía.

Cuzon et al. (2004) recomendaron una tasa de consumo diario de 1.2 g de PD para una biomasa de *L. vannamei* de 100 g (12 g PD kg⁻¹ PCH d⁻¹) alimentado con una dieta con una proporción P/E de 23 mg PD KJ ED. Este nivel de PD es aproximadamente 47 y 33% mayor que los valores encontrados en el presente estudio para las dietas con 25 y 35% de proteína, respectivamente. Kureshy y Davis (2002) sugirieron un nivel de 23.5 g PC kg⁻¹ PCH d⁻¹ (17.88 g PD kg⁻¹ PCH d⁻¹) para una dieta con 32% de proteína y de 20.5 g PC kg⁻¹ PCH d⁻¹ (15.39 g PD kg⁻¹ PCH d⁻¹) para una con 48% de proteína para producir crecimiento máximo de sub-adultos de *L. vannamei*. Estos requerimientos aparentes de PD son aproximadamente 64 y 59% superiores a los encontrados en este estudio para la dieta con 25% de proteína y 64 y 59% mayores a los observados para la dieta con 35% de proteína. Estas grandes diferencias pueden atribuirse a las disímiles tasas de alimentación de los dos estudios. Kureshy y Davis (2002) reportaron un requerimiento de PC que correspondió a una tasa de alimentación de ~7% del peso corporal, en tanto que dicho valor en el presente estudio correspondió a ~2.5% del peso corporal. La diferencia en el requerimiento aparente de proteína entre los dos estudios también puede deberse a que los organismos en el presente estudio se pesaron individualmente y se alimentaron con alimentadores automáticos que suministraron la ración diaria en 15 porciones, mientras que Kureshy y Davis (2002) colocaron 8 camarones por tanque y los alimentaron cuatro veces por día. Arayankanada (1995) sugirió que la frecuencia de alimentación puede afectar los requerimientos nutricionales y concluyó que el requerimiento proteico observado en dicho estudio (15%) pudiera atribuirse a una mayor frecuencia de alimentación (también 15 porciones por día). Más aún, Kureshy y Davis (2002) ajustaron la tasa de alimentación después de 2 semanas de estudio, de acuerdo con la biomasa de cada tanque, en comparación con el presente estudio, en el que cada individuo recibió una cantidad fija de alimento durante todo el bioensayo. El ajuste de la tasa de alimentación 2 semanas antes de finalizar el estudio tal

vez evitó que los organismos obtuvieran un peso consistente con la disponibilidad de nutrientes, pues no es probable que cada individuo haya consumido la misma cantidad de alimento, especialmente en el caso de la menor tasa de alimentación, y que haya crecido a la misma tasa. Los organismos en el presente estudio crecieron de manera lineal ($R^2 = 0.992$ y $R^2 = 0.986$ para individuos alimentados con 25 y 35% proteína, respectivamente) a lo largo del experimento, lo que sugiere que mantuvieron un equilibrio aparente entre el crecimiento y los nutrientes suministrados hasta que alcanzaron el crecimiento máximo.

Teshima et al. (2001) reportaron un requerimiento de proteína de $10 \text{ g kg}^{-1} \text{ PCH d}^{-1}$ para crecimiento máximo de *Marsupenaeus japonicus*. *M. japonicus* es considerada una especie con mayor requerimiento proteico que otras (Kanazawa, 1990). Los valores reportados para *M. japonicus* ascienden hasta 57% (Deshimaru and Yone, 1978), mientras que los reportes para *L. vannamei*, especie definitivamente más herbívora, son de 40% (Colvin and Brand, 1977). Basados exclusivamente en los hábitos alimenticios de *L. vannamei*, uno esperaría un requerimiento diario de PD ($6.31 - 8.00 \text{ g PD kg}^{-1} \text{ PCH d}^{-1}$) menor al de *M. japonicus* ($10 \text{ g PD kg}^{-1} \text{ PCH d}^{-1}$), lo que sugiere que los valores obtenidos en el presente estudio pudieran estar más cercanos a los requerimientos aparentes verdaderos que los de estudios previos. Los requerimientos diarios de PD reportados en este estudio también concuerdan con los estudios realizados con peces omnívoros. Gatlin et al. (1986) determinaron un requerimiento proteico para crecimiento máximo de $8.75 \text{ g PD kg}^{-1} \text{ PCH d}^{-1}$ para el bagre de canal alimentado a tasas de alimentación entre 0% a 5% PCH d^{-1} .

El requerimiento aparente de PD para crecimiento máximo decreció a lo largo del estudio de 7 semanas de $8.97 \text{ g PD kg}^{-1} \text{ PCH d}^{-1}$ en la semana 2 para individuos de 7.69 g a $5.04 \text{ g PD kg}^{-1} \text{ PCH d}^{-1}$ en la semana 7 para individuos de 13.08 g alimentados con la dieta con 25% de proteína. Una reducción similar se observó para los camarones alimentados con 35% de proteína: de $10.24 \text{ g PD kg}^{-1} \text{ PCH d}^{-1}$ en la semana 2 para individuos de 8.11 g a $7.11 \text{ g PD kg}^{-1} \text{ PCH d}^{-1}$ en la semana 7 para individuos de 13.79 g. Una reducción en los requerimientos diarios de proteína con la edad de los individuos se ha reportado anteriormente para *L. vannamei* (Colvin y Brand 1977; Akiyama et al., 1992; Pedrazzoli et al., 1998), *P. californiensis* (Colvin y Brand, 1977), *L. setiferus* (García-Carreno 1998), *P. monodon* (Chen, 1998) y para peces (Lupatsch et al., 1998). Dicha reducción ha sido explicada en términos de un reducido potencial para crecimiento a medida que los organismos crecen; no obstante, el crecimiento fue lineal durante todo el estudio (7 semanas), lo que se pudiera explicar en parte como una reducción de la digestibilidad aparente de proteína a medida que los organismos crecen. Esta reducción en la digestibilidad aparente de la proteína, acompañada de una constante digestibilidad de energía, sugiere que su habilidad para utilizar carbohidratos y lípidos como fuente de energía se incrementa con la edad, lo que puede contribuir a la reducción del requerimiento proteico aparente observado en el presente estudio. Tal reducción del requerimiento proteico aparente afectaría la proporción entre la PD y la ED, lo que podría ser necesario considerar al formular dietas para camarones de mayor edad.

Cuzon et al. (2004) reportaron que el requerimiento proteico probablemente no estaría correlacionado con el incremento de proteína corporal como en los vertebrados, debido a la síntesis de quitina, los resultados del presente estudio sugieren lo contrario. Los requerimientos diarios aparentes de PD para máximo crecimiento para individuos de 13.08 g de peso alimentados con 25% de proteína dietética obtenidos a partir de los datos de crecimiento y composición corporal fueron de $0.066 \text{ g PD individuo}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y $0.066 \text{ g PD individuo}^{-1} \text{ día}^{-1}$, respectivamente. Se observó también una correlación perfecta entre los requerimientos diarios aparentes de PD y los datos de crecimiento y composición corporal para individuos de 13.79 g de peso alimentados con 35% de proteína dietética ($0.098 \text{ g PD individuo}^{-1} \text{ día}^{-1}$ and $0.098 \text{ g PD individuo}^{-1} \text{ día}^{-1}$, respectively). Estos resultados sugieren que los requerimientos diarios aparentes de PD para crecimiento máximo pueden estimarse a partir de la composición corporal de *L. vannamei* alimentado con incrementos graduales de la cantidad de alimento.

El promedio del requerimiento diario aparente de PD para mantenimiento fue de $0.11 \text{ g PD individuo}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ($1.03 \text{ g PD kg}^{-1} \text{ PCH d}^{-1}$) para individuos de 7.69 – 13.08 g de peso alimentados con 25% de proteína y de $0.021 \text{ g PD individuo}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ($1.87 \text{ g PD kg}^{-1} \text{ PCH d}^{-1}$) para camarones de 8.11 – 13.79 g de peso que recibieron 35% de proteína dietética. La diferencia en el requerimiento aparente para mantenimiento entre las dos dietas podría explicarse por la utilización de proteína como fuente de energía y la mayor tasa de crecimiento en el caso de la dieta con 35% de proteína. Dichos factores incrementarían los requerimientos aparentes, ya que habría un mayor costo metabólico para la conversión de proteína a energía y los requerimientos de proteína para mantenimiento serían mayores para organismos de talla progresivamente mayor.

Por otra parte, los valores obtenidos son similares a los reportados anteriormente por Kuresy and Davis (2002), quienes registraron valores de requerimiento diario de PD para mantenimiento entre 1.5 – 2.1 g PC $\text{kg}^{-1} \text{ PCH}^{-1}$ para sub-adultos de *L. vannamei* alimentados ya sea con 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.4, 1.8, 2.6 y 3.2 g de una dieta con 16% de proteína $\text{individuo}^{-1} \text{ semana}^{-1}$ o 0.4, 0.55, 0.7, 0.85, 1.0, 1.3, 1.6 y 1.9 g de una dieta con 32% de proteína $\text{individuo}^{-1} \text{ semana}^{-1}$. La consistencia entre los resultados del presente estudio y los obtenidos por Kuresy and Davis (2002) para mantenimiento, pero no para crecimiento máximo, fortalecen aún más la teoría de que la tasa de alimentación no debe ajustarse basándose en el cambio en la biomasa, sino que debe mantenerse constante durante todo el estudio, incluyendo un grupo de diferentes niveles de la dieta por individuo por día. No es claro el por qué Kuresy and Davis (2002) utilizaron dos estudios distintos con dos estrategias de alimentación distintas para obtener valores de requerimientos para mantenimiento aparente ($\text{g dieta individuo}^{-1} \text{ semana}^{-1}$) y para peso ganado máximo aparente (% dieta por biomasa ajustado cada 2 semanas), pues ambos valores pueden obtenerse a partir de un mismo estudio. Tehima et al. (1991) determinaron el requerimiento aparente de proteína para mantenimiento de *M. japonicus*, que fue $1.09 \text{ g PD kg}^{-1} \text{ PCH d}^{-1}$ y el cual es ligeramente mayor al obtenido en el presente estudio con la dieta con 25% de proteína, pero menor al obtenido con la dieta con 35%

de proteína. Esto podría sugerir una tasa metabólica similar entre ambas especies, pero Rosas et al. (2001) señalaron que *L. setiferus* podría tener una tasa metabólica mayor que la de juveniles de *L. vannamei* basados en un incremento (el doble) del consumo de oxígeno de rutina de *L. setiferus* vs. *L. vannamei*. Este incremento podría significar que el requerimiento para mantenimiento de *L. setiferus* pudiera ser el doble del de *L. vannamei*; sin embargo, aún no se ha llevado al cabo investigación acerca del requerimiento diario aparente de PD para mantenimiento para *L. setiferus*. Los valores de requerimiento aparente de PD para mantenimiento obtenidos en este estudio también concuerdan con valores obtenidos para diversas especies de peces. McGoogan y Gatlin (1998) determinaron el requerimiento de PD para mantenimiento de *Sciaenops ocellatus*, que fue de 1.5 – 2.5 g PD kg⁻¹ PCH d⁻¹, en tanto que Gatlin et al. (1986) determinaron que el del bagre de canal era de 1.32 g PD kg⁻¹ PCH d⁻¹. Los requerimientos aparentes de PD para mantenimiento obtenidos a partir de los datos de crecimiento tuvieron una fuerte correlación con los obtenidos mediante la regresión de datos de proteína corporal, los cuales fueron de 0.014 g PD individuo⁻¹ día⁻¹ y 0.014 g PD individuo⁻¹ día⁻¹, respectivamente, para organismos de 13.08 g de peso que recibieron la dieta con 25% de proteína. Un resultado similar se observó para la dieta con 35% de proteína, con la cual se observaron requerimientos aparentes de PD para mantenimiento de 0.024 g PD individuo⁻¹ día⁻¹ a partir de los datos de crecimiento y de 0.030 g PD individuo⁻¹ día⁻¹ a partir de los datos de proteína corporal. Estos resultados indican que los requerimientos diarios de PD para mantenimiento pueden estimarse a partir del análisis de la composición corporal y que esto puede ayudar a validar los resultados obtenidos a partir de datos de crecimiento.

Requerimientos diarios aparentes de energía digerible para crecimiento máximo y mantenimiento

Lo camarones obtienen su energía a través del catabolismo del alimento y la utilizan tanto para mantenimiento como para reproducción y actividad fisiológica. Los requerimientos energéticos han sido estimados para peces desde que Ege y Krogh (1914) aplicaron los principios de bioenergética a los peces; sin embargo, pocos estudios se han enfocado en requerimientos diarios de ED de camarones (Cuzon *et al.*, 2004). En el presente estudio, el promedio del requerimiento diario de ED para camarones de 7.69 a 13.08 g de peso alimentados con 25% de proteína fue de 4.275 kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹ (402.62 kJ ED kg⁻¹ PCH d⁻¹), mientras que para la dieta con 35% de proteína fue de 3.765 kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹ (334.72 kJ ED kg⁻¹ PCH d⁻¹) para individuos de 8.11 a 13.79 g. El aparentemente más bajo requerimiento energético de los organismos que recibieron la dieta con 35% de proteína puede atribuirse a la menor eficiencia de la utilización de proteína como fuente de energía.

Cuzon et al. (2004) sugirieron un requerimiento energético diario de 140 kJ ED para una biomasa de 100 g de camarón (1400 kJ ED d⁻¹ kg camarón⁻¹). Este nivel recomendado es 71 y 76% mayor a los obtenidos en el presente estudio para las dietas con 25 y 35% de proteína. La razón de tan grande discrepancia en el requerimiento diario aparente de ED

no es clara. Lo valores obtenidos en el presente estudio son similares a los reportados para peces omnívoros, mientras que los obtenidos por Cuzon et al (2004) son cercanos a los reportados para peces carnívoros. Gatlin et al (1986) obtuvieron un requerimiento diario aparente de ED de $417.35 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ PCH d}^{-1}$ para el bagre de canal alimentado ya sea con una dieta con 25% de proteína (11.92 kJ g^{-1}) o con una dieta con 35% de proteína (16.69 kJ g^{-1}), el cual es cercano al observado en este estudio. McGoogan y Gatlin (1998) reportaron un valor del requerimiento de ED para máximo crecimiento de $774 - 954 \text{ kJ ED kg}^{-1} \text{ PCH d}^{-1}$ para *S. ocellatus*, el cual es un poco más cercano, pero aún menor, que el requerimiento sugerido por Cuzon et al (2004) para *L. vannamei*.

Para a dieta con 25% de proteína los requerimientos diarios aparentes de ED para crecimiento máximo disminuyeron a medida que los camarones crecieron. Dichos requerimientos fueron estimados en $574.08 \text{ kJ ED kg}^{-1} \text{ PCH d}^{-1}$ en la semana 2 para individuos de 7.69 g de peso, en tanto que en la semana 7 fueron de tan solo $322.79 \text{ kJ ED kg}^{-1} \text{ PCH d}^{-1}$ para camarones de 13.08 g. Algo similar se observó para la dieta con 35% de proteína: los requerimientos diarios aparentes de ED en la semana 2 fueron de $428.86 \text{ kJ ED kg}^{-1} \text{ PCH d}^{-1}$ para individuos de 8.11 g de peso y de $296.73 \text{ kJ ED kg}^{-1} \text{ PCH d}^{-1}$ para individuos de 13.79 g de peso en la semana 7. Esta reducción del requerimiento energético puede atribuirse a una reducción aparente del requerimiento proteico, a su vez, posiblemente causada por un decremento de la digestibilidad de la proteína. Un decremento similar del requerimiento energético no ha sido reportado antes para camarones peneidos, por consiguiente, no es posible comparar este y otros estudios. Los requerimientos diarios aparentes de energía digerible para crecimiento máximo obtenidos con los datos de crecimiento concordaron con los obtenidos a partir de los datos de composición corporal. Dichos requerimientos fueron de $4.330 \text{ kJ ED individuo}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y de $4.238 \text{ kJ ED individuo}^{-1} \text{ día}^{-1}$ para los datos de composición corporal y crecimiento, respectivamente, de camarones de 13.08 g de peso alimentados con la dieta de 25% de proteína. También se obtuvo una alta correlación para los organismos de 13.79 g de peso que recibieron la dieta con 35% de proteína ($4.167 \text{ kJ ED individuo}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y $4.091 \text{ kJ ED individuo}^{-1} \text{ día}^{-1}$ para composición corporal y crecimiento, respectivamente). McGoogan y Gatlin (1998) observaron una gran discrepancia entre los requerimientos aparentes de energía determinados para *S. ocellatus* mediante datos de crecimiento y de energía corporal, la que atribuyeron a un posible incremento de la densidad energética ocasionada por la deposición de lípido. Como se ha mencionado anteriormente, a medida que crecen, los camarones tienen una habilidad limitada para almacenar el exceso de energía bajo forma de lípidos o carbohidratos. Esta diferencia fisiológica entre peces y camarones es fundamental y, una vez más, ayuda a explicar el alto grado de correlación entre los requerimientos aparentes de energía determinados mediante datos de crecimiento y de composición corporal.

El promedio de los requerimientos diarios aparentes de ED para mantenimiento para camarones de 7.69 – 13.08 g de peso alimentados con 25% de proteína dietética fue de $0.702 \text{ kJ ED individuo}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ($66.232 \text{ kJ ED kg}^{-1} \text{ PCH d}^{-1}$) y de $0.887 \text{ kJ ED individuo}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ($76.98 \text{ kJ ED kg}^{-1} \text{ PCH d}^{-1}$) para individuos de 8.07 – 13.79 g que recibieron la

dieta con 35% de proteína. La diferencia en el requerimiento aparente de DE para mantenimiento puede explicarse, como se describió en el caso de la proteína, por el uso de proteína como fuente de energía y por la mayor tasa de crecimiento observadas en el caso de la dieta con 35% de proteína. Muy pocos estudios, si no es que ninguno, han abordado el estudio de los requerimientos diarios aparentes de ED para mantenimiento de alguna especie de camarón. No obstante, los valores obtenidos en el presente estudio se comparan bien con los obtenidos para peces. Gatlin et al. (1986) determinaron un requerimiento de energía para mantenimiento del bagre de canal entre 71.12 – 72.50 kJ energía kg⁻¹ PCH d⁻¹. Por su parte, McGoogan y Gatlin (1998) reportaron un valor del requerimiento diario aparente de ED entre 57.99 – 93.01 kJ ED kg⁻¹ PCH d⁻¹ para *S. ocellatus* alimentado con una dieta de 36.5% de proteína y 14.2 kJ ED. Las similitudes entre los requerimientos diarios aparentes de ED para mantenimiento no son sorprendentes, ya que las especies acuáticas tienen una tasa metabólica basal en promedio diez veces menor a la de vertebrados homeotermos (Kleiber, 1965), lo que es conferido por la naturaleza del hábitat acuático.

Los requerimientos diarios aparentes de ED para mantenimiento obtenidos a partir de datos de composición corporal concordaron con los obtenidos mediante los datos de crecimiento: 0.891 kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹ y 0.887 kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹, respectivamente, para individuos de 13.08 g alimentados con 25% de proteína dietética. Una correlación similar se observó para los camarones de 13.79 g de peso que consumieron la dieta con 35% de proteína: 1.096 y 1.012 kJ ED individuo⁻¹ día⁻¹ para los datos de crecimiento y composición corporal, respectivamente. Debido a la falta de información científica sobre los requerimientos diarios aparentes de energía de camarones, no es posible comparar los datos obtenidos en el presente estudio con datos previos. Sin embargo, se sugiere que la correlación entre los datos del requerimiento energético para mantenimiento obtenidos en el presente estudio a partir de los registros de crecimiento y composición corporal se deben a la limitada habilidad de *L. vannamei* para almacenar lípidos y carbohidratos.

Referencias

- Akiyama, D.M., 1991. Soybean meal utilization by marine shrimp. In: Akiyama, D.M., Tan, R.K.H. (Eds.), Proceedings of the Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop, Thailand and Indonesia, September 19-25. American Soybean Assoc., Singapore, pp. 201-225.
- Akiyama, D.M., Dominy, W.G., Lawrence, A., 1992. Penaeid shrimp nutrition. In: Fast, A.W., Lester, J. (Eds.), Marine Shrimp Culture: Principles and Practices. Elsevier, Amsterdam, pp. 535-567.
- AOAC, 1990. Official Methods of Analysis, 15th ed., Vol. 1. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA
- Aranyakananda, P., 1995. Dietary protein and energy requirements of *Penaeus vannamei* and the optimal protein to energy ratio. Ph.D Dissertation, Texas A&M University., College Station, TX, 95 pp.
- Beck, F., 1987. Untersuchungen zum Protein- und Energieerhaltungsbedarf der Regenbogenforelle (*Salmo gairdneri* Richardson): Schätzung der Hungerverluste. Dissertation Universität München, München, pp. 143.
- Bhaskar, T.I.C.J., Ali, S.A., 1984. Studies on the protein requirement of postlarval of the penaeid prawn *Penaeus indicus* H. Milne Edwards using purified diets. Indian Journal of Fisheries 31, 74-81.
- Boonyaratpalin, M., 1978. Effect of dietary levels of energy and protein on voluntary food consumption, growth, and body and serum composition of channel catfish. Ph.D. Dissertation, Auburn University, Auburn, AL, pp. 77.
- Boothby, R.N., Avault, J.W., 1971. Food habits, length weight relationships, and condition factor of the red drum (*Sciaenops ocellatus*) in southeastern Louisiana. Trans American Fishery Society 100, 290-295.
- Boujard, T., Medale, F., 1994. Regulation of voluntary feed intake in juvenile rainbow trout fed by hand or by self-feeders with diets containing two different protein/energy ratios. Aquatic Living Resource 7, 211-215.
- Boyd, C., Clay, J., 1998. Shrimp aquaculture and the environment. Scientific American June, 58-65.
- Brett, J.R., Groves, T.D.D., 1979. Physiological energetics. In: Hoar, W.S., Randall, D.J., Brett, J.R. (Editors), Fish Physiology, Vol. VIII. Academic Press, New York, NY, pp. 279-352.
- Bromley, P.J., Adkins, T.C., 1984. The influence of cellulose filler on feeding, growth and utilization of protein and energy in rainbow trout, *Salmo gairdnerii* Richardson. Journal of Fishery Biology 24, 235-244.
- Chen, H.Y., 1998. Nutritional requirement of the black tiger shrimp: *Penaeus monodon*. Review in Fisheries Science 6, 79-95.
- Chen, J.C., Lin, C.Y., 1991. Lethal effects of ammonia and nitrite on *Penaeus penicillatus* juveniles at two salinity levels. Comparative Biochemistry and Physiology 100C, 477-482.
- Cho, C., 1992. Feeding systems for rainbow trout and other salmonids with reference to current estimates of energy and protein requirements. Aquaculture 100, 107-123.
- Colvin, L.B., Brand, C.W., 1977. The protein requirement of penaeid shrimp at various life cycle stages in controlled environmental systems. Proceedings of the World Mariculture Society 8, 821-840.
- Cordova-Murueta, J.H., Garcia-Carreno, F.L., 2002. Nutritive value of squid and hydrolyzed protein supplement in shrimp feed. Aquaculture 210 371-384.
- Cordova_Murueta, J.H., Garcia-Carreno, F.L., Navarrete-del-Toro, M.A., 2003. Digestive enzymes present in crustacean feces as a tool for biochemical, physiological, and ecological studies. Journal of Experimental Biology and Ecology 297, 43-56.
- Cousin, M., Cuzon, G., Blanchet, E., Ruelle, F., 1991. Protein requirements following an optimum dietary energy to protein ration for *Penaeus vannamei* juveniles. In: Kaushik, S.J., Liquet, P. (Eds.), Fish Nutrition in Practice. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, France, pp. 599-606.
- Cui, Y., Liu, J., 1990. Comparison of energy budget among six teleosts—II. Metabolic rates. Comparative Biochemistry and Physiology 97A, 169-174.
- Cushing, D.H., 1968. Fisheries Biology, A study in Population Dynamics. University of Wisconsin Press, Madison, WI, 200 pp.
- Cuzon, G., Lawrence, A., Gaxiola, G., Rosas, C., Guillaume, J., 2004. Nutrition of *Litopenaeus vannamei* reared in tanks or in ponds. Aquaculture 235, 513-551.
- Davis, D.A., Arnold, C.R., 1995. Effects of two extrusion processing conditions on the digestibility of four cereal grains for *Penaeus vannamei*. Aquaculture 133, 287-294.
- Deshimaru, O., Yone, Y., 1978. Optimal level of dietary protein for prawn. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 44, 1395-1397.
- Ege, R., Krogh, A., 1914. On the relation between the temperature and the respiratory exchange in fishes. Int. Revue ges. Hydrobiol. Hydrogr. 1, 48-55.

- Garcia-Carreño, F.L., 1998. Prediction of protein digestibility in shrimp and use of second generation protein ingredients in aquaculture feeds. In: IV International Symposium Nutrition in Aquaculture. La Paz, BCS, Mexico, November 15-18. CIBNOR, La Paz, BCS, Mexico, Conference.
- Gatlin, D.M., Poe, W.E., Wilson, R.P., 1986. Protein and energy requirements of fingerling channel catfish for maintenance and maximum growth. *Journal of Nutrition* 116, 2121-2131.
- Guillaume, J., 1997. Protein and amino acids. In: D'Abramo, L/R/, Conklin, D.E., Akiyama, D.E. (Eds.), *Crustacean Nutrition*. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA, pp. 26-50.
- Hogendoorn, H., 1983. Growth and production of the African catfish, *Clarias lazera*. III. Bioenergetic relations of body weight and feeding level. *Aquaculture* 35, 1-17.
- Huggins, A.K., Munday, K.A., 1968. Crustacean metabolism. In: *Advances in Comparative Physiology and Biochemistry*. O. Lowenstein (ed.) Academic Press, New York pp. 271-278.
- Kanazawa, A., 1990. Protein requirements of Penaeid shrimp. In Barret J. (ed.), *Advances in Tropical Aquaculture Workshop in Tahiti, Feb 20 – March 4, 1989*. AQUACOP IFREMER Actes de Colloque 9, 261-270.
- Kentouri, M., Divanach, P., Geurden, I., Anthouard, M., 1995. Evidence of adaptive behaviour in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) in relation to diet composition, in a self-feeding condition. *Ichthyophysiology Acta* 18, 125-143.
- Kleiber, M., 1965. Metabolic body size, In: *Energy Metabolism*. (Blaxter, J.H.S. ed.), pp. 427-435. Academic Press, London.
- Kureshy, N., Davis, D.A., 2002. Protein requirement for maintenance and maximum weight gain for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 204, 125-143.
- Lawrence, A., Castille, F., Samocha, T., Velasco, M., 2001. "Environmentally friendly" or "least polluting" feed and feed management for aquaculture. In: Browdy, C.L., Jory, D.E. (Eds.), *The new wave, proceedings of the special session on sustainable shrimp culture, Aquaculture 2001*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA, pp. 84-95.
- Lee, P.G., Lawrence, A.L., 1997. Digestibility. In: D'Abramo, L/R/, Conklin, D.E., Akiyama, D.E. (Eds.), *Crustacean Nutrition*. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA, pp. 194-260.
- Lupatsch, I., Kissil, G. W., Sklan, D., Pfeffer, E., 1998. Energy and protein requirements for maintenance and growth in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture Nutrition* 4, 165-173.
- Lupatsch, I., Kissil, G.W., Sklan, D., Pfeffer, E., 2001. Effects of varying dietary protein and energy supply on growth, body composition and protein utilization in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture Nutrition* 7, 71-80.
- Lupatsch, I., Kissil, G.W., Sklan, D., 2003. Comparison of energy and protein efficiency among three fish species gilthead sea bream (*Sparus aurata*), European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and white grouper (*Epinephelus aeneus*): energy expenditure for protein and lipid deposition. *Aquaculture* 225, 175-189.
- McGoogan, B.B., Gatlin, D.M., 1998. Metabolic requirements of red drum, *Sciaenops ocellatus*, for protein and energy based on weight gain and body composition. *Journal of Nutrition* 128, 123-129. Mullen, J.D., Riley, J.P., 1955. The spectrophotometric determination of nitrite in natural waters, with particular reference to sea-water. *Anal. Chim. Acta.*, 12, 464-480.
- Page, J.W., Andrews, J.W., 1973. Interactions of dietary levels of protein and energy on channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Journal of Nutrition* 103, 1339-1346.
- Paspatis, M., Boujard, T., 1996. A comparative study of automatic feeding and self-feeding in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets of different energy levels. *Aquaculture* 145, 245-257.
- Pedrazzoli, A., Molina, C., Montoya, N., Townsend, S., Leon-Hing, A., Paredes, Y., Calderon, J., 1998. Recent advances on nutrition research of *Penaeus vannamei* in Ecuador. *Reviews of Fisheries Science* 61, 143-151.
- Pfeffer, E., Pieper, A., 1979. Application of the factorial approach for deriving nutrient requirements of growing fish. In: *Proc. World Symp. On Finfish Nutrition and Fishfeed Technology, Hamburg (1978)*. (Halver, J.E., Tiews, K., eds.), Vol. II., 545-553.
- Pfeffer, E., Potthast, V., 1977. *Advances in Animal Physiology and Animal Nutrition. Studies on Nutrition of Carp and Trout*. Vol. 8, pp. 32-55. Paul Parey, Hamburg.
- Read, G.L.H., Caulton, M.S., 1980. Changes in mass and chemical composition during the moult cycle and ovarian development in immature and mature *P. indicus* Milne Edwards. *Comparative Biochemistry and Physiology* 66A, 431-437.
- Robbins, K.R., Norton, H.W., Baker, D.H., 1979. Estimation of nutrient requirements from growth data. *Journal of Nutrition* 109, 1710-1714.

- Rosas, C., Cuzon, G., Taboada, G., Pascual, C., Gaxiola, G., Van Wormhoudt, A., 2001. Effect of dietary protein and energy levels on growth, oxygen consumption, haemolymph and digestive gland carbohydrates, nitrogen excretion and osmotic pressure of *Litopenaeus vannamei* (Boone) and *L. setiferus* (Linne) juveniles (Crustacea, Decapoda; Penaeidae). *Aquaculture Research* 32, 531-547.
- Rosas, C., Cuzon, G., Gaxiola, G., Pascual, C., Taboada, G., Arena, L., Wormhoudt, A., 2002. An energetic and conceptual model of the physiological role of dietary carbohydrates and salinity on *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 268, 47-67.
- Scheer, B.T., Scheer, M.A.R., 1951. The hormonal regulation of metabolism in crustaceans. I. Blood sugar in spiny lobsters. *Physiological Comparata Oecologica* 2, 198-209.
- Scheer, B.T., Schwabe, C.W., Scheer, M.A.R., 1952. The hormonal regulations of metabolism in crustaceans. III. Tissue oxidations in crustaceans. *Physiologica Comparata Oecologica* 2, 327-338.
- Shearer, K.D., 1995. The use of factorial modeling to determine the dietary requirements for essential elements in fishes. *Aquaculture* 133, 57-72.
- Shiau, S.Y., Lin, K.P., Chiou, C.L., 1992. Digestibility of different protein sources by *Penaeus monodon* raised in brackish water and in sea water. *Journal of Applied Aquaculture* 1, 47-53.
- Smith, L.L., Lee, P.G., Lawrence, A.L., Strawn, K., 1985. Growth and digestibility by three sizes of *Penaeus vannamei* Boone: effects of dietary protein level and protein source. *Aquaculture* 46, 85-96.
- Solarzano, L., 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method. *Limnology and Oceanography* 14, 799-801.
- Spotte, S., 1979a. *Fish and invertebrate culture: water management in closed systems*, 2nd ed. Wiley, New York, pp. 179.
- Spotte, S., 1979b. *Seawater aquariums: the captive environment*. Wiley, New York, pp. 413.
- Strickland, J.D.H., Parsons, T.R., 1972. *A practical handbook of seawater analysis*, 2nd ed. Bull. 167, Fish. Res. Board Can., Ottawa, pp. 310.
- Teshima, S., Koshio, S., Ishikawa, M., Kanazawa, A., 2001. Protein requirement of the prawn *Marsupenaeus japonicus* estimated by a factorial method. *Hydrobiologia* 449, 293-300.
- Velasco, M., Lawrence, A.L., Neill, W.H., 1999. Efectos de la proteina y el fosforo dietario en la calidad de agua de acuicultura. In: Cruz, L.E., Mendoza, R.E., Ricque, D. (Eds.), *Memorias del Tercer Simposium Internacional de Nutricion Acuicola*. Universidad Autonoma de Nuevo Leon, Monterrey, Nuevo Leon, Mexico, pp. 597-612.
- Wilson, R.P., Gatlin, D.M., III, Poe, W.E., 1985. Postprandial changes in serum amino acids of the channel catfish fed diets containing different levels of protein and energy. *Aquaculture* 49, 101-110.