

Disminución de la Proteína en el Alimento del Camarón como una Estrategia para Reducir el Impacto Ambiental

César Molina Poveda

Fundación CENAIM-ESPOL, Campus Politécnico Casilla 09-01-4519, Guayaquil, Ecuador

Introducción

La acuicultura del camarón se volvió rentable desde la década de los 70 debido a la creciente demanda de este crustáceo, lo cual ha estimulado continuamente su cultivo. Para el cultivo del camarón se destinan 1.2 millones de hectáreas en Asia y cerca de 200 mil ha en el hemisferio occidental.

El cultivo de camarones se ha convertido en una industria multimillonaria a nivel mundial, con producciones que han incrementado de 170,000 TM en 1984 a 932,000 TM en 1995 representando el 29% del mercado mundial de camarones. Para sostener este volumen de producción de camarón cultivado fue necesario producir 1'050,000 TM de alimento balanceado (FAO, 1997).

Los alimentos son fuentes de nutrientes para camarones pero también la mayor fuente de desperdicios. Los factores que mayormente influyen en la carga de desperdicios hacia el sistema de cultivo y que están ligados a la calidad del alimento son: formulación de la dieta, tecnología de producción de balanceados y las prácticas de alimentación.

La optimización de la calidad de los alimentos para el cultivo del camarón es importante por razones biológicas, medioambientales, sanitarias y económicas. Velasco *et al.* (1996) reportó que la acumulación de compuestos de nitrógeno disueltos en el agua aumenta significativamente con el nivel de proteína dietética.

El impacto del alimento en la tasa de crecimiento y la conversión del alimento dependerá de los ingredientes usados y de su calidad. La digestibilidad de la proteína ha sido frecuentemente usada como un indicador de la digestibilidad en general, por ser la proteína el principal nutriente requerido para el crecimiento. Cuando hay carencia de fuentes de energía no proteicas tales como lípidos o carbohidratos, la proteína dietética puede ser fácilmente desaminada y oxidada para ser utilizada como fuente de energía, más que para el crecimiento. Por otro lado, el exceso de energía es considerado como uno de los factores que influyen en la reducción de la tasa de ingestión y por consiguiente en el total de proteína ingerida (Sedgwick, 1979). Varios estudios han demostrado que un buen balance proteína/energía podría minimizar el uso de proteína y reducir la cantidad de amonio excretada por camarón (Hajra *et al.*, 1988; Shiau y Chou, 1991; Koshio *et al.*, 1993).

Alimentos no contaminantes son formulados para evitar los excesos de fibra, carbohidratos, proteína y fósforo para lo cual son necesarias fuentes de proteína altamente digestibles, como harinas de pescado con bajos niveles de cenizas y por ende de fósforo. El principal efecto medio ambiental del alimento a la acuicultura son las excesivas cargas de nitrógeno y fósforo a los efluentes y acumulación de estos en el medioambiente. Excesiva lixiviación de nutrientes resulta especialmente en eutroficación del medio con el consiguiente riesgo de crecimiento de algas produciendo una disminución en el consumo de alimento y deprimiendo la tasa de crecimiento.

Poco alimento afecta al crecimiento y por consiguiente a la producción, pero la sobrealimentación puede también conducir a ineficientes procesos digestivos y a un aumento de la carga orgánica debido al alimento no consumido.

El objetivo de este trabajo es dar una visión en conjunto del efecto que causa suministrar diferentes niveles de proteína en la digestibilidad, tasa de crecimiento, ingestión y excreción de amonio del *Penaeus indicus* y *P. vannamei* y sus posibles consecuencias al medio ambiente.

Materiales y Métodos.

2.1 Estudio con *Penaeus Indicus*

Bioensayo de cultivo

Penaeus indicus (2.53 ± 0.04) provenientes de reproductores del Mar Rojo, fueron sembrados en una densidad de 5 camarones por canasta plástica, haciendo un total de 12 canastas sumergidas en un tanque de 2500 l, disponiendo de 4 canastas por tratamiento. Los camarones fueron alimentados diariamente de 08h00 a 00h30 con intervalos de 90 minutos; el alimento no ingerido, heces y mudas fueron removidos a diario. Los animales fueron pesados al inicio, después de 25 días (para ajustar la ración alimenticia) y al final del bioensayo.

El fotoperíodo fue de 15 horas de luz y 9 horas de oscuridad. La temperatura del agua de mar fue de 28.6 ± 0.6 C; el agua se mantuvo aireada y recirculada a través de un filtro biológico, la salinidad fue de 32 μ ps.

Dietas experimentales

Se elaboraron 3 dietas isocalóricas (Tabla 1), con 10, 20 y 40% de proteína (Dietas A, B y C respectivamente). Los pellets fueron elaborados con un molino de carne Kenwood® obteniéndose fideos de 3mm de diámetro.

Tabla 1. Composición de las dietas experimentales

Ingredientes	A	B	C
Harina de pescado	8	8	8
Harina de Krill	4	4	4
Lecitina	1.5	1.5	1.5
Colesterol	0.5	0.5	0.5
Carboxymetilcelulosa	4	3.69	2.82
Fosfato dibásico de sodio	1.9	1.9	1.9
Mezcla mineral	2	2	2
Mezcla vitamina	5	5	5
Oxido de cromo	1	1	1
Almidón de trigo	63.40	48.82	17.21
Harina de soya	0.00	7.79	29.41
Gluten de trigo	0.35	6.23	12.85
Aceite de pescado	6.42	5.93	5.25
Kaolin	1.93	3.65	8.56
Composición calculada	100.00	100.00	100.00
Proteína	10	20	40
Lípido	7	7	7
Carbohidrato	63.4	50.3	22.8
Fibra	4.00	4.00	4.00
Cenizas	4.93	7.11	13.32
Energía bruta (Kcal/100g)	382.59	385.38	385.63
mg proteína/kcal	26.14	51.90	103.73

Análisis Químico

El contenido de nitrógeno de las dietas y heces fue determinado en un analizador elemental Carlo Erba 1106 usando acetinilido como estándar. El óxido de cromo presente en las dietas y heces fue analizado según McGinnis y Kasting (1964).

2.2. Estudio con *Penaeus vannamei*

Bioensayo de crecimiento.

Penaeus vannamei con un peso promedio de 1.02 ± 0.17 g, se distribuyeron en 15 tanques circulares de 500 litros de capacidad. Se sembraron 30 camarones por tanque con 3 tanques por tratamiento. Los animales fueron alimentados a saciedad en dos raciones diarias 09h00 y 19h00, pesados cada 14 días para ajustar la ración alimenticia; el alimento sobrante, heces y mudas fueron removidos cada mañana antes de la primera alimentación. El fotoperíodo fue de 12 horas de iluminación artificial y 12 horas de oscuridad; bajo condiciones de recambio de agua de 300% diario. El control de la calidad de agua se realizaba mediante monitoreo semanal de temperatura (26.9 ± 1.01 C, n=8) pH (7.9 ± 0.36 , n=8) oxígeno disuelto (5.96 ± 0.64 ppm, n=8) y salinidad (33.3 ± 1.6 μ ps n=8).

Dietas experimentales.

Se formularon 4 dietas de 20% proteína con niveles de inclusión de 30% - 45% de carbohidratos (Dietas A-D) que variaban con incrementos de 5%. Además se preparó una dieta que contenía 40% de proteína y 30% de carbohidratos (Dieta E). La fuente de carbohidratos fue el almidón de yuca gelatinizado (Tabla 2). Las dietas fueron peletizadas usando un molino de carne Oster®.

Tabla 2. Composición de las dietas experimentales

INGREDIENTES	A	B	C	D	E
Ha. Soya	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Ha. Krill	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Ha. Pescado	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Ha. Artemia	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Celulosa	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Oxido de cromo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Lecitina	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Colesterol	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Mezcla Mineral	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Mezcla Vitamínica	4.50	4.50	4.50	4.50	0.68
Almidón de Yuca Gelatinizada	28.50	33.50	38.50	43.50	28.50
Gluten de trigo	10.68	10.68	10.68	10.68	34.79
Aceite de pescado	6.36	4.16	2.06	0.00	5.03
Tierra de diatomea	18.96	16.16	13.26	10.54	0.00
Composición Calculada	100	100	100	100	100
Proteína	20	20	20	20	39.4
Lípidos	11	8.8	6.7	4.5	11
Carbohidratos	30	35	40	45	30
Cenizas	24.4	21.6	18.7	15.9	5.7
Energía bruta (Kcal/100g)	339.9	339.7	340.3	340	449.5
mg Proteína/Kcal	58.8	58.9	58.8	58.8	87.6

Análisis Químico.

Los métodos analíticos usados para determinar composición proximal de las dietas experimentales fueron: materia seca obtenida de la diferencia antes y después de secar a

135 C por 2 horas; proteína cruda (Nx6.25) por el método de Kjeldahl, lípidos por homogenización con cloroformo-metanol (2:1, v/v) según Folch *et al.* (1957); cenizas por incineración en la mufla a 550 C por 4h; el óxido de cromo en las dietas y las heces fue medido por el método de Mc Ginnis y Kasting (1964) que consiste en una digestión con ácido sulfúrico seguido del desarrollo del color por acción del difenilcarbazida.

Análisis Bioquímico

Hepatopáncreas de camarones en premuda fueron macerados en una solución tampón de Tris-hidroximetil aminometano hidrocloreto (Tris) 46 mM con un pH de 8.1, luego fue centrifugado a 13000 rpm por 5 minutos a 4 C y el sobrenadante utilizado para análisis.

El análisis de amilasa, se basa en la hidrólisis del almidón por acción de la α -amilasa, reduciéndolo a grupos hemiacetal que pueden ser determinados con ácido 3-5 dinitrosalicílico (Rick y Stegbauer, 1974); en tanto que para el análisis de glicógeno la muestra desproteinizada con ácido tricloroacético es tratada con fenol y ácido sulfúrico para el desarrollo del color, según Dubois *et al.* (1956).

Bioensayo para determinar la digestibilidad de proteína

Para la prueba de digestibilidad se seleccionaron 5 camarones con un peso aproximado de 4 g por cada tanque y se trasladaron a acuarios de 50 litros de capacidad. Durante una semana los animales fueron alimentados a saciedad y cada 2 horas las heces fueron sifoneadas y recolectadas en una malla donde fueron separadas del alimento sobrante y lavadas en agua dulce para remover las sales del agua de mar. Las heces fueron colectadas en tubos Eppendorf[®] los cuales se mantuvieron en un baño de hielo durante el trabajo de colección. El agua remanente fue descartada luego de centrifugar a 13500 rpm por 5 minutos a 4 C. Las heces mantenidas a -80 C fueron liofilizadas por 48 horas en un liofilizador EYELA[®].

Bioensayo para determinar la tasa de ingestión.

Los animales empleados en el experimento de digestibilidad fueron alimentados a saciedad en el horario establecido anteriormente, 3 horas después de cada alimentación se removió el alimento no consumido sobre una malla previamente pesada. El alimento lavado en agua dulce, fue secado en una estufa por un período de 24 horas a 60 C y pesado para determinar la tasa porcentual de ingestión de alimento en base a la biomasa de cada acuario.

Análisis estadístico.

Los resultados fueron analizados por el método LSD (Least Significant Difference) después de encontrar diferencias significativas (P=0.05) mediante el análisis de varianza "ANOVA" usando Data Desk.

RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Estudio con *P. indicus*

Tasa de ingestión

Aunque no hubo diferencias significativas entre la cantidad absoluta del alimento ingerido en términos de peso corporal entre dietas con 10% y 20% de proteína, los camarones alimentados con 20% de proteína comieron 2% más que los camarones alimentados con 40% de proteína y estos camarones consumieron 1% menos que los camarones alimentados con dietas con 10% de proteína (Tabla 3).

Camarones alimentados con 20% de proteína aparentemente ingirieron tanto alimento como fue necesario para cubrir su requerimiento de proteína para el crecimiento, mientras que aquellos alimentados con 40% de proteína disminuyeron la ingesta cuando su demanda metabólica de proteína fue cubierta.

Digestibilidad aparente de proteína

Una mayor digestibilidad de las dietas con 20 y 40% de proteína basada en la aparente digestibilidad de la proteína (Tabla 3), indica que la combinación de varias fuentes proteicas conteniendo aminoácidos altamente digestibles (Akiyama *et al.*, 1992), hace posible una digestibilidad más alta comparadas con las observadas por Colvin (1976), 88% y 86.3% para dietas con 20 y 40% de proteína en la misma especie. La baja digestibilidad obtenida (71.83%) en el presente estudio con la dieta de 10% proteína tal vez fue debido a la alta cantidad de carbohidratos crudos presentes y a la baja proporción de proteína en comparación a las dietas de 20 y 40%.

Excreción de amonio

La explicación más probable para la tendencia presentada en la tabla 3 es que los camarones alimentados con 20% de proteína demostraron la óptima utilización de proteína y por lo tanto produjeron bajas cantidades de amonio. Así las dietas con más bajo porcentaje de proteína (20%), que resultaron con igual o mayor crecimiento (eficiencia) que las dietas con mayor porcentaje de proteína (40%), minimizan la producción de amonio a través de la excreción (Tabla 3).

La tasa de excreción de amonio alcanzó el nivel pico (751.1 $\mu\text{g/g/24 h}$) solamente en los camarones alimentados con 40% de proteína dietética, similar a los resultados reportados por Koshio *et al.* (1993) para *P. japonicus* alimentados con 41.6% proteína (900 $\mu\text{g/g/24 h}$), y aquellos reportados por Udayakumara y Ponniah (1987), quienes encontraron que juveniles *P. indicus* alimentados con dietas de 22.45% y 40.87% de proteína, al 7% de la biomasa, excretaron 288 y 816 $\mu\text{g/g/24 h}$ respectivamente.

Tabla 3. Tasa de ingestión, digestibilidad de materia seca y proteína y tasa de excreción de amonio ($\mu\text{g-atom NH}_4\text{-N día/gramo de camarón}$) para el *P. indicus* alimentado a varios niveles de proteína a 28 °C¹.

Dieta (%)	Ingestión ² % Peso corporal	Digestibilidad Proteína(%) ²	Excreción de amonio ³
10	5.42 ± 0.17 ^a	71.83 ± 4.76 ^a	38.58±11.02 ^a
20	6.25 ± 0.30 ^a	89.57 ± 1.53 ^b	45.94±11.91 ^a
40	4.28 ± 0.32 ^b	94.23 ± 0.29 ^b	751.08±30.97 ^b

¹ Datos son los valores promedios y error estándar de 5 réplicas.

² Valores con diferente letras en la misma columna son significativamente diferentes ($p<0.05$)

3.2. Estudio con *P. vannamei*

Crecimiento.

Hubo un incremento significativo ($p<0.05$) del peso ganado en los camarones alimentados con la dieta con 20% de proteína y 40% de almidón gelatinizado, con respecto a las otras dietas ensayadas, incluyendo la que contiene 40% de proteína. No se observó diferencias entre las dietas de 20% de proteína que contenían 30 y 35 % de almidón de yuca gelatinizada, mientras que 45% de éste almidón produjo una disminución significativa en la tasa de crecimiento del *P. vannamei* sin llegar a ser estadísticamente menor a la dieta E (Figura 1).

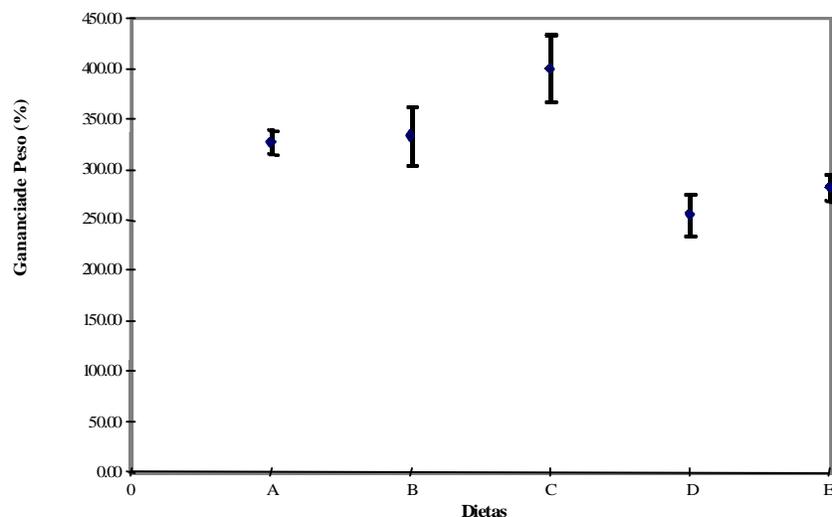


Figura 1. Promedio del porcentaje de peso ganado de juveniles *P. vannamei* alimentados con dietas de diferentes niveles de inclusión de carbohidratos.

Colvin y Brand (1977), Smith *et al.* (1985) y Cousin *et al.* (1991) reportaron un nivel óptimo de proteína de 30% mientras que Aranyakananda y Lawrence (1994) encontraron un requerimiento de 25% para *P. vannamei*. Los resultados obtenidos en este estudio están por debajo de los reportados hasta la fecha bajo condiciones de laboratorio, probablemente por una mejor utilización de los carbohidratos digestibles. Conceptualmente, esto podría ser explicado por el hecho de que cuando la cantidad de energía digestible decrece mayor es la cantidad de proteína destinada a convertirse en energía.

Por otro lado, la disminución en el crecimiento de los camarones alimentados con 40% de proteína, probablemente se debió al incremento a 5:1 de la relación proteína vegetal:animal por el incremento de gluten de trigo para alcanzar el nivel de proteína formulado. Esto sugiere que como la proteína vegetal se incrementó, los aminoácidos esenciales limitantes presentes, se volvieron aún más limitantes para el crecimiento. Aunque otra posible explicación para el pobre crecimiento presentado por la dieta E puede estar dada por el mayor contenido energético presente, tal como lo reportaron Hajra *et al.* (1988) quienes observaron una reducción de la tasa de crecimiento en juveniles *P. monodon* alimentados con dietas que contenían altos niveles de energía.

Supervivencia

No se observaron diferencias significativas ($p>0.05$) entre los tratamientos A, B, C y D los cuales obtuvieron supervivencias por encima del 97% (Tabla 4). Los camarones alimentados con la dieta E presentaron una supervivencia del 86%, significativamente menor ($p<0.05$) a los alimentados con las dietas A, B, C y D. Las tasas de supervivencia también parecen estar relacionadas al contenido de proteína en la dieta. Este hecho ha sido observado en el cultivo del *P. aztecus*, donde las tasas de supervivencia decrecieron gradualmente cuando el nivel de proteína dietética fue incrementado (Venkataramiah *et al.*, 1975).

Camba *et al.* (1992), obtuvieron supervivencias del 68 y 77% en *P. vannamei* cuando se incrementaron los niveles de proteína dietética entre 40 y 45%, respectivamente; observaron también, que con niveles inferiores de proteína las supervivencias tienden a ser mayores. Aranyakananda y Lawrence (1994) también señalaron que *P. vannamei* alimentados con dietas de 25 y 45% de proteína, que contenían 2% de *Artemia* liofilizada y diferentes niveles de energía, presentaron supervivencias de 76 y 58%, respectivamente. Parece ser que en la medida que disminuye el porcentaje de proteína en las dietas el porcentaje de supervivencia aumenta.

Tasa de ingestión.

Los resultados mostrados en la tabla 4 indican que el consumo de las dietas A, B y C fue significativamente mayor ($p<0.05$) que en la dieta D, incluso que la dieta de 40% de proteína. La cantidad de dieta A, B y C consumida por cada grupo de camarones no fue estadísticamente diferente ($p>0.05$) entre ellos. La incorporación de 45% de almidón produjo una reducción de la tasa de ingestión. Los camarones alimentados con la dieta E comieron 3% menos que los camarones alimentados con dieta C indicando que la cantidad de proteína ingerida fue menor y por consiguiente el crecimiento se vio afectado.

El consumo de la dieta E de 40% de proteína, 12% de lípidos y 30% de almidón fue la mitad de lo consumido por los camarones alimentados con la dieta A de 20% de proteína, 12% de lípidos y 30% de almidón. Esto podría indicar que los camarones comieron hasta satisfacer su requerimiento energético sin importar el contenido de proteína de la dieta. Los resultados de este estudio están en relación a lo encontrado por Sedgwick (1979) quien reportó que el incremento de energía redujo la tasa de ingestión del *P. merguensis*. Similar control del consumo de alimento a través del contenido de energía dietético también ha sido reportado por Marais y Kissil (1979) para el *Sparus aurata*.

Tabla 4. Resultados obtenidos de tasa de ingestión, digestibilidad de proteína y eficiencia proteica para el *P. vannamei* después de 8 semanas de cultivo a 27 °C¹.

Dietas	Supervivencia (%)	Ingestión ² % Peso corporal	Digestibilidad Proteína(%) ²	Eficiencia Proteica ³
A	99 ± 1 ^a	7.93 ± 0.99 ^a	63.72 ± 3.46 ^a	1.78 ± 0.17 ^a
B	99 ± 2 ^a	6.57 ± 1.02 ^a	61.27 ± 4.83 ^a	2.09 ± 0.18 ^a
C	97 ± 3 ^a	6.86 ± 0.48 ^a	73.95 ± 3.21 ^b	1.83 ± 0.20 ^a
D	100 ± 0 ^a	4.16 ± 1.14 ^b	73.67 ± 3.81 ^b	1.68 ± 0.19 ^a
E	86 ± 2 ^b	3.80 ± 0.35 ^b	83.86 ± 5.06 ^c	0.71 ± 0.05 ^b

¹ Datos son los valores promedios ± desviación estándar de 3 réplicas.

² Valores con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Eficiencia proteica.

Los resultados obtenidos de la tasa de eficiencia proteica (EP) no fueron significativamente diferentes ($p > 0.05$) entre las dietas A, B, C y D pero sí fueron significativamente mayores que la dieta E. La tasa de eficiencia de la proteína más alta la presentó la dieta B que contenía 20% de proteína y 35% de almidón gelatinizado. Los resultados del presente estudio indican que el nivel de almidón no pareció mejorar la EP en los camarones alimentados con las dietas de 20% de proteína, mientras que la más pobre eficiencia proteica fue encontrada con los alimentados con 40% de proteína similar a lo encontrado por Camba *et al.* (1992). Una relación inversa entre EP y la proteína dietética ha sido también reportada por Colvin (1976), Sedgwick (1979) y Cousin *et al.* (1991) en *P. indicus*, *P. merguensis* y *P. vannamei*, respectivamente. Esto sugiere que cuando los aminoácidos dietéticos excedieron los niveles requeridos para síntesis proteica, estos fueron catabolizados y por lo tanto no soportaron el crecimiento.

Digestibilidad aparente de proteína.

Los resultados mostraron que las dietas que contenían 20% de proteína con 40 y 45% de almidón (C y D, respectivamente) presentaron los coeficientes de digestibilidad de proteína significativamente ($p < 0.05$) más altos sin llegar a ser diferentes entre sí (Tabla 4). La dieta E mostró un coeficiente de digestibilidad de proteína de 83.5%, estadísticamente superior a los demás tratamientos ($p < 0.05$).

Se observó un incremento proporcional del 10% en la digestibilidad de la proteína, conforme aumentó en 10% la inclusión de almidón gelatinizado; éste resultado guarda relación con los datos obtenidos por otros autores sobre el efecto de los niveles de almidón gelatinizado en la digestibilidad de proteína. Numerosas investigaciones han indicado una mejor digestibilidad del almidón en dietas para *Penaeus* que incluyen en su elaboración procesos de gelatinización o extrusión (Davis y Arnold, 1993; Cousin *et al.*, 1996) y peces (Kaushik *et al.*, 1989; Jeong *et al.*, 1991).

Por el contrario, Catacutan (1991) reportó que la digestibilidad de la proteína no fue afectada por los diferentes niveles de carbohidratos (5-35% de harina de pan gelatinizado) presentes en dietas para *P. monodon*, esto es probablemente debido a que el grado de gelatinización de los carbohidratos y el nivel de inclusión de carbohidratos dietéticos pudieron haber sido demasiado bajos para detectar diferencias en la digestibilidad de la proteína.

Glicógeno.

La concentración de glicógeno en los hepatopáncreas de camarones alimentados con las dietas A, D y E fueron estadísticamente menores con respecto a los alimentados con las dietas B y C. La más alta concentración de glicógeno la obtuvo la dieta C, siendo significativamente diferente ($p < 0.05$) de los otros tratamientos.

El glicógeno depositado en el hepatopáncreas es usado principalmente como una reserva de glucosa de la hemolinfa. Este trabajo reveló que hubo una relación altamente positiva ($r^2 = 1$, $p < 0.002$) entre el nivel de carbohidrato hasta un 40% de incorporación en la dieta y la deposición de glicógeno en el hepatopáncreas (Fig. 2). En peces ha sido demostrado que el almacenamiento del glicógeno incrementa, conforme la cantidad de carbohidratos dietéticos aumentan (Cowey *et al.*, 1975; Hilton y Atkinson, 1982).

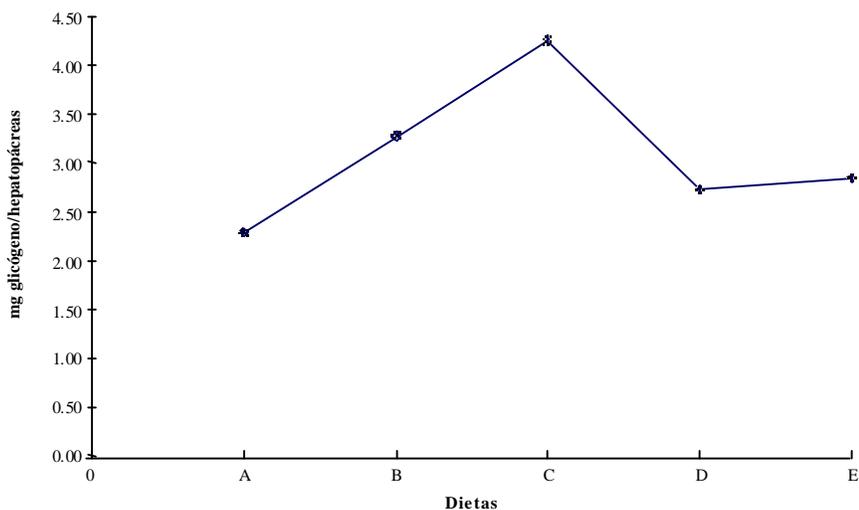


Figura 2. Contenido de glicógeno en el hepatopáncreas de camarones alimentados con diferentes niveles de carbohidrato dietético.

Aamilasa.

Los resultados de actividad de amilasa indican que los tratamientos A, B y D no son estadísticamente diferentes ($p>0.05$), pero sí presentan diferencias con respecto a los tratamientos C y E (Fig. 3). El tratamiento C obtuvo la más alta actividad de amilasa frente a los otros tratamientos. La incorporación de almidón gelatinizado en dietas fue utilizada para promover la síntesis de alfa-amilasa en el hepatopáncreas de la langosta *Homarus gammarus* (Moreau *et al.*, 1985). En tanto que la dieta E produjo la menor ($p<0.05$) actividad enzimática de los tratamientos evaluados; esto podría ser consecuencia de una mayor cantidad de proteína dietética como lo mencionan Le Moullac *et al.* (1997), quienes observaron que la actividad de amilasa decreció cuando el nivel de proteína incrementó de 25 a 40%. La cantidad de amilasa del *P. vannamei* es la más alta entre los peneidos representando el 1% del total de proteína hepatopancreática (Van Wormhoudt *et al.*, 1995) lo que permite a esta especie aprovechar más eficientemente los carbohidratos suministrados en la dieta.

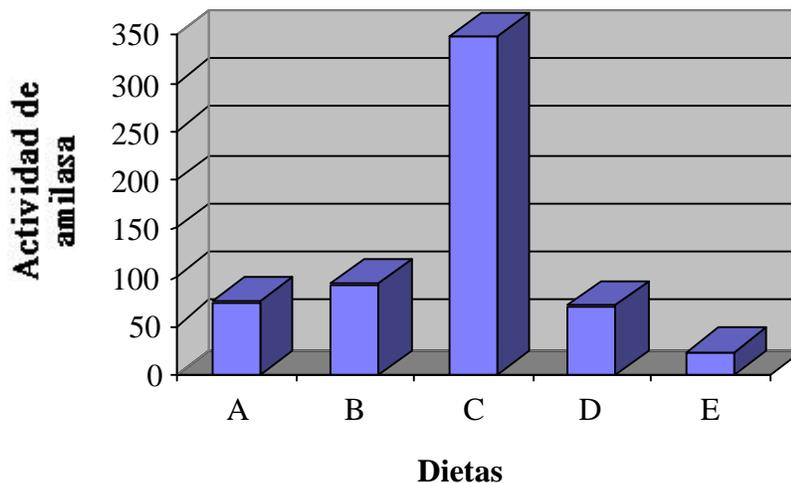


Figura 3. Efecto del nivel de inclusión de carbohidrato dietético en la actividad de amilasa del *P. vannamei*

CONCLUSION

De las dietas ensayadas, la dieta de 20% de proteína constantemente rindió los mayores beneficios a los camarones *P. indicus* y *P. vannamei* en términos de alto consumo, crecimiento y digestibilidad. El uso de una fuente de carbohidratos previamente desdoblada térmicamente permitió un mejor aprovechamiento de esta fuente de energía por el *P. vannamei*, lo cual se pudo observar en la mayor retención de reservas de energía a través de la deposición de glicógeno hepatopancreático presentado por los camarones alimentados con la dieta C.

Las implicaciones de alimentar con dietas que contienen menos proteína que el promedio de las dietas comerciales son:

- Los costos de producción de las dietas artificiales para algunas o todas las especies de camarón serían reducidos drásticamente, debido a que la proteína es el ingrediente más caro.
- Si se suministra la cantidad de proteína adecuada para cubrir sus necesidades metabólicas se puede reducir los desperdicios de alimentos no consumidos y por consiguiente las cargas de contaminación hacia el sedimento y el agua; así tenemos por ejemplo que si estimamos la carga de proteína hacia la piscina partiendo de los resultados obtenidos para una producción de 1000 Kg de camarón alimentados con dietas conteniendo 20% de proteína, asumiendo una conversión de 2:1, la carga hacia el sistema es de 100 kg de proteína no consumida sin considerar lo que se pierde a través de la defecación. Esto nos da una proyección de la calidad de efluentes y suelos que se podrían obtener si no hay una buena biodisponibilidad de nutrientes, atractibilidad, balance de aminoácidos y apropiadas fuentes de energía digestible.
- Finalmente, la mayor ventaja de producir dietas con un apropiado contenido de proteína es el mejoramiento en la calidad de agua no solamente en piscinas sino también en las descargas de agua cuando la producción de amonio es reducida a niveles de 2.3% como lo fue demostrado con el *P. indicus*. Concluyendo una mayor biodisponibilidad de energía no proteica incrementa la retención de nitrógeno dietético con el consiguiente beneficio en la reducción de desperdicios

Naturalmente es necesario el desarrollo de experimentos en sistemas de cultivo comerciales para confirmar los resultados obtenidos en este estudio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a Yela Paredes por su ayuda invaluable en la elaboración de éste trabajo y a Elena Cruz por su asistencia técnica en el desarrollo de los análisis bioquímicos.

LITERATURA CITADA

- Akiyama, D. M.; Dominy, W. G. and Lawrence, A. L.** 1992. Penaeid shrimp nutrition. In Marine shrimp culture: Principles and Practices. Developments in aquaculture and fisheries science Vol. 23. Fast, A. W. and Lester, L. J. (Eds.). Elsevier, New York, USA., p. 535-568.
- Aranyakananda, P. y Lawrence, A. L.** 1994. Efectos de la tasa de ingestión sobre los requerimientos alimenticios en proteína y energía y la relación óptima proteína-energía para *Penaeus vannamei*. Pag 157-169. Mendoza, R. y L. E. Cruz y Ricque, D. (Eds.). Segundo Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. Noviembre 7-9. Monterrey, Mexico.
- Balazs, G. and Ross, E.** 1976. Effect of protein source and level on growth and performance of the captive freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. Aquaculture 7: 299-313.
- Camba, E., Pedrazzoli, A., Yaguachi, M. y Akiyama, T.** 1992. Requerimientos de proteína en dietas artificiales para juveniles *Penaeus vannamei*. Pag 53-58. Calderón, J. y Sandoval, V. (Eds.). Memorias del Primer Congreso Ecuatoriano de Acuicultura. Octubre 18-23. Guayaquil, Ecuador.
- Catacutan, M. R.** 1991. Apparent digestibility of diets with various carbohydrate levels and the growth response of *Penaeus monodon*. Aquaculture 95: 89-96.
- Colvin, P.M.** 1976. Nutritional studies on penaeid prawns: protein requirements in compounded diets for juvenile *Penaeus indicus* (Milne Edwards). Aquaculture 7: 315- 326.

- Colvin, L. B. y Brand, C. W.** 1977. The protein requirement of penaeid shrimp at various life cycle stages in controlled environment systems. *Journal of the World Mariculture Society* 8: 821-840.
- Cousin, M., Cuzon, G., Guillaume, J. Aquacop.** 1996. Digestibility of starch in *Penaeus vannamei*. *in vivo* and *in vitro* study on eight samples of various origin. *Aquaculture* 140: 361-372.
- Cousin, M., Cuzon, G., Blanchet, E., Ruelle, F., and Aquacop.** 1991.
- Cowey, D. B., Adron, J. W., and Brown, D. A.** 1975. Studies on the nutrition of marine flatfish. The metabolism of glucose by plaice (*Pleuronectes platessa*) and the effect of dietary energy source on protein utilization in plaice. *Br. J. Nutr.* 33: 219-231.
- Davis, D. A. and Arnold, C. R.** 1993. Evaluation of five carbohydrate sources for *Penaeus vannamei*. *Aquaculture* 114: 285-292.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. and Smith, F.** 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 28: 350-356.
- FAO.** 1997. Review of state of world aquaculture. FAO Fisheries Circular No 886 Rev. 1. Rome. 163 pp.
- Folch, J., Lees, M., and Sloane-Stanley, G. H.** 1957. Simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226: 497-509.
- Hajra, A., Ghosh, A. and Mandal, S.K.** 1988. Biochemical studies on the determination of optimum dietary protein to energy ratio for tiger prawn *Penaeus monodon* (Fab.) juveniles. *Aquaculture* 71: 71-79.
- Hilton, J. W. and Atkinson, J. L.** 1982. Response of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) to increased levels of available carbohydrate in practical trout diets. *Br. J. Nutr.* 47: 597-607
- Jeong, K. S., Takeuchi, T. and Watanabe, T.** 1991. Improvement of nutritional quality of carbohydrate ingredients by extrusion process in diets of red sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi* 57: 1543-1549.
- Kaushik, S. J., Medale, F., Fauconneau, B. and Blank, D.** 1989. Effect of digestible carbohydrates on protein/energy utilization and on glucosa metabolism in rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). *Aquaculture* 79: 63-74.
- Koshio, S.; Teshima, S.; Kanazawa, A. and Watase, T.** 1993. The effect of dietary protein content on growth, digestion efficiency and nitrogen excretion of juvenile kuruma, *Penaeus japonicus*. *Aquaculture* 113: 101-114.
- Le Moullac, G., Klein, B., Sellos, D., Van Wormhoudt, A.** 1997. Adaptation of trypsin, chymotrypsin and alpha-amylase to casein level and protein source in *Penaeus vannamei* (Crustacea Decapoda). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 208: 107-125.
- McGinnis, A. J. and Kasting, R.** 1964. Colorimetric analysis of chromic oxide to study food utilization and consumption of food by phytophagous insects. *Agricultural and food chemistry* 12: 259-262.
- Moreau, G. Henocque, Y., Van Wormhoudt, A., Martin, B. J. and Ceccaldi, H. J.** 1985. Adaptations biochimiques à des aliments composés et croissance chez le homard juvenile. *Hommarus gammarus*: resultats préliminaires. *Aquaculture* 48: 313-329.
- Rick, W. y Stegbauer, H. P.** 1974. Amylase. In: *Methods in Enzymatic Analysis* (Bergmeyer, H.U. ed.) pp. 885-890. Academic Press, New York.
- Sedgwick, R. W.** 1979. Effect of ration size and feeding frequency on the growth and food conversion of juvenile *Penaeus merguensis* de man. *Aquaculture* 16: 279-298.
- Shiau, S. Y. and Chou, B. S.** 1991. Effects of dietary protein and energy on growth performance of tiger shrimp *Penaeus monodon* reared in seawater. *Nippon Suisan Gakkaishi* 57: 2271-2276.
- Smith, L. L., Lee, P. G., Lawrence, A. L. and 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
- Udayakumara, K. and A. G. Ponniah.** 1988. Physiological response of *Penaeus indicus* fed on different artificial and natural feeds. Pages 95-98. M. M. Joseph, (Ed.) Proceedings of the first Indian Fisheries Forum, 4-8 December 1987, Mangalore, Karnataka.
- Van Wormhoudt, A., Bourreau, G., and Lemoullac, G.** 1995. Amylase polymorphism in crustacea decapoda: electrophoretic and immunological studies. *Biochemical Systematics and Ecology* 23: 139-149.
- Velasco, M., A.L. Lawrence and W.H. Neill** (1996). Effects of dietary protein and phosphorous on aquacultural water quality. Tercer simposium internacional de nutrición acuícola. 11-13 Nov. 1996. México. pp 1-21.
- Venkataramiah, A., Lakshmi G. L. and Gunter, G.** 1975. Effect of protein level and vegetable matter on growth and food conversion efficiency of brown shrimp. *Aquaculture* 6: 115-125.