

Historia y Estatus Actual de la Digestibilidad y Algunas Características Físico-químicas de los Alimentos Comerciales para Camarón Usados en México.

Lucía Elizabeth Cruz-Suárez¹, Denis Ricque-Marie¹, Mireya Tapia-Salazar¹,
Lizbeth Fabiola Marín-Zaldivar², Claudio Guajardo-Barbosa¹,
Martha Nieto-López¹ y América Salinas-Miller¹

¹Programa Maricultura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. Cd. Universitaria Apdo. Postal F-56, San Nicolás de los Garzas, Nuevo León 66450, Tel/Fax: +52 8 3526380, Email: lucruz@ccr.dsi.uanl.mx, elicruz@hotmail.com.

²Instituto Nacional de la Pesca, DGIA. Pitágoras 1320, Col. Santa Cruz Atoyac, México, D.F. 03310, Tel/Fax: +55 56884014.

RESUMEN

El monitoreo de la digestibilidad y de los parámetros físico-químicos de los alimentos comerciales para camarón tiene como objetivo la búsqueda de alimentos más eficientes y más amigables con el ambiente acuático. Al analizar diferentes estudios realizados por el Programa Maricultura, se encontró que entre 1998 y 2001, en algunos alimentos comercializados en México, se presentó una evolución positiva con una mejora especialmente en la digestibilidad de materia seca; sin embargo entre 9 alimentos comerciales colectados en 2001, se encontraron diferencias de hasta 18 puntos en digestibilidad de proteína (65-83%), 9 puntos de digestibilidad de materia seca (65-74%) y 8 puntos de digestibilidad de energía (74-82%). A pesar de la evolución positiva, todos los alimentos siguen teniendo una digestibilidad de materia seca inferior al valor deseable de 80%. De manera complementaria, a cada uno de estos 9 alimentos se le determinó la composición bromatológica, estabilidad en el agua de la materia seca, de la proteína y de la energía, capacidad de absorción de agua, diámetro y longitud de los pellets, número de pellets/g y % de finos. El análisis de estas determinaciones y la comparación con valores recomendados, se presentan en este trabajo.

Palabras clave: *Litopenaeus vannamei*, alimento comercial, digestibilidad, digestibilidad *in vitro*, estabilidad en el agua

INTRODUCCIÓN

La industria de cultivo de camarón, como los otros sectores pecuarios, busca producir carne con máximos rendimientos al mínimo costo. El uso de alimentos balanceados puede mejorar la producción de camarón e incrementar las utilidades. Sin embargo, los alimentos son caros y pueden variar del 50 al 70% del total de los gastos variables de producción. Por lo tanto, la calidad y el costo del alimento son factores críticos para la rentabilidad de una granja camaronera.

Hajen *et al.* (1993) mencionan que la determinación de la digestibilidad es esencial no sólo para formular dietas a bajo costo sino que además es muy útil para la investigación de requerimientos nutricionales, selección de ingredientes con valor nutritivo potencial (en relación a la calidad de la materia prima) y formulación de dietas que minimicen la contaminación del agua. Otros trabajos en salmónidos promueven el uso de alimentos altamente digeribles para conservar la calidad del agua en el cultivo (Cho *et al.*, 1993, 1994, Romero & Manrique, 1993). En algunos países como Dinamarca los niveles de nutrientes en efluentes están sujetos a legislaciones reguladoras desde los ochenta (Kossmann, 1990). En el ámbito del cultivo de crustáceos, Lee & Lawrence (1997) mencionaron que la imposición progresiva de regulaciones ambientales estrictas de los efluentes de granjas acuícolas, y el alto costo de su tratamiento, está generando la demanda de alimentos asimilables que produzcan menos desechos de nitrógeno y de fósforo, por lo que el estudio de la digestibilidad en los alimentos ha tomado un gran interés.

Akiyama *et al.* (1993) y Brown *et al.* (1989) coincidieron en que la evaluación de la digestibilidad resulta esencial en la determinación de la calidad de un alimento; adicionalmente el conocimiento de la digestibilidad de las materias primas permite realizar una formulación más precisa de la dieta, pudiendo disminuir la cantidad de proteína o bien se podrían utilizar fuentes de proteína de menor costo reduciendo así substancialmente el precio del alimento.

El Programa Maricultura, desde 1998, ha desarrollado una serie de proyectos donde se ha determinado *in vivo* la digestibilidad de la materia seca (DAMS) así como de la proteína (DAP) de alimentos para engorda de camarón de diferentes compañías que son consumidos por productores de camarón en México. Los resultados de estos estudios agrupados por especie y año se resumen en la Tabla 1.

Estos resultados indican que globalmente durante estos últimos 3 años los alimentos balanceados han presentado una evolución positiva sobre todo en la DAMS. Desafortunadamente esta mejoría no ha sido uniforme para todas las compañías y en 2001 todavía se comercializaron alimentos de baja digestibilidad (65%). En contraste, algunas compañías han hecho esfuerzos por utilizar fuentes de proteína de alta calidad, mejorar su proceso de molienda y utilizar carbohidratos de mayor digestibilidad, con lo que han

mejorado considerablemente la calidad de su producto, presentando mejores digestibilidades de materia seca y proteína de hasta 74 y 83% respectivamente.

Tabla 1. Digestibilidad promedio de algunos alimentos comerciales de camarón usados en México de 1998 a 2001 evaluados por el Programa Maricultura.

| Especie | Año de fabricación y estudio | No de marcas evaluadas | Contenido promedio de proteína en el alimento % | DAMS promedio % | Min-max % | DAP Promedio % | Min-max % |
|------------------------|------------------------------|------------------------|---|-----------------|-----------|----------------|-----------|
| <i>L. stylirostris</i> | 1998-1999 | 6 | 36-40 | 66 | 45-86 | 69 | 46-92 |
| <i>L. vannamei</i> | 1998-1999 | 2 | 36-38 | 68 | 63-73 | 82 | 79-84 |
| <i>L. vannamei</i> | 2001 | 2 | 35-36 | 72 | 67-77 | 82 | 76-87 |
| <i>L. vannamei</i> | 2001 | 9 | 35-40 | 70 | 65-74 | 74 | 65-83 |

La metodología usada es la misma que se describe en material y método. La digestibilidad en camarón azul y camarón blanco es diferente, siendo mas exigente el camarón azul.

Para poder contar con un estudio horizontal, que incluyera la mayoría de las marcas de alimentos que se utilizan en México, el ultimo estudio de 2001 fue más completo. Además de determinar la DAMS y la DAP de 9 alimentos colectados, se determinó la composición química, algunos parámetros físicos, la digestibilidad *in vitro* de la proteína, la digestibilidad aparente de la energía (DAE) y la relación proteína/energía digestibles. Lo anterior con dos objetivos: 1) contribuir al conocimiento de la calidad de los alimentos empleados en la producción de camarón en México para tratar de reducir el costo de producción y atenuar el impacto potencial en el medio ambiente, y 2) para que los productores conozcan algunas especificaciones fisico-químicas de los alimentos que consumen y que deberían supervisar continuamente.

Es importante señalar que los resultados presentados en este trabajo deben ser considerados en la magnitud adecuada, ya que la clasificación de los alimentos producidos por las diferentes compañías de alimentos balanceados en México puede cambiar de un lote a otro y los resultados corresponden a muestras proporcionadas por diferentes productores en un periodo de tiempo específico (ver materiales y métodos). Es evidente que un monitoreo continuo, por ejemplo mensual, de los alimentos sería necesario para dar una clasificación que permita generar criterios confiables de selección.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente proyecto se realizó en la Universidad Autónoma de Nuevo León, en la sala de bioensayos marinos y laboratorio de análisis químicos del Programa Maricultura. Para la realización de estos experimentos se utilizaron juveniles de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* procedentes de la granja camaronera Industrias PECIS (Yucatán, México).

Los alimentos comerciales fueron proporcionados por diferentes productores de camarón y corresponden a lotes de alimentos elaborados entre mayo y junio del año 2001. Los alimentos evaluados fueron solicitados considerando el nivel de proteína mas utilizado durante el ciclo de cultivo en la mayoría de las granjas que corresponde a un 35% de

proteína. Solo uno de los alimentos recibidos tenía un valor de proteína anunciado de 35-37%. Las muestras de 2 a 3 Kg. de cada alimento fueron recibidas en el Programa Maricultura entre junio y julio. Una vez recibidos, estos fueron mantenidos en congelación (-20C).

Análisis químico de los alimentos

Se determinó la composición bromatológica de los alimentos utilizando los siguientes métodos: Proteína Kjeldhal (Tecator, 1987), lípidos Soxhlet (Tecator, 1983), ceniza AOAC 942.05 (1990) y fibra AOAC 962.09 (1990). El extracto libre de nitrógeno (ELN) fue calculado por diferencia. La energía bruta fue determinada en una bomba calorimétrica modelo Parr 1425.

Determinación de la estabilidad de los alimentos

Para determinar la estabilidad de los alimentos en términos de porcentaje de pérdida de materia seca (PMS), de proteína (PP) y de energía (PE), se realizaron pruebas de lixiviación de las dietas, con 3 replicados, utilizando el método Aquacop (1978), para lo cual se utilizó agua marina sintética entre 27 y 28°C, con una salinidad entre 34 y 35 ‰, así como las siguientes formulas:

$$\% \text{ PMS} = [(\text{Peso del alimento en base seca antes de lixiviar} - \text{Peso del alimento en base seca después de lixiviar}) / \text{Peso del alimento en base seca antes de lixiviar}] * 100$$

$$\% \text{ PP} = [(\% \text{ de proteína en el alimento} * 100) - (\% \text{ de proteína en el alimento lixiviado} * (100 - \% \text{ pérdida de materia seca en la dieta}))] / \% \text{ proteína en el alimento.}$$

La pérdida de energía se calculó de con una formula similar a la de PP, remplazando en la formula los contenidos de proteína por contenidos de energía.

Análisis físicos de los alimentos.

Adicionalmente a los análisis de estabilidad en el agua de los alimentos, se midieron los siguientes parámetros físicos:

- a).- Densidad: peso del alimento/peso del agua desplazada en una bureta.
- b).- Número de pellets/g de alimento. Se pesó 1 g de alimento y se contó el número de pellets, en 3 replicados.
- c).- Diámetro de los pellets. Se midió con un vernier el diámetro de 10 pellets.
- d).- Longitud de los pellets. Se midió con un vernier la longitud de 20 pellets.
- e).- % de finos. Se midió el % de finos presente en 100g de muestra.
- f).- Capacidad de absorción de agua (%). La capacidad de absorción de agua del alimento se determinó después de una hora de inmersión en agua, por diferencia de peso en proporción al peso inicial. El exceso de agua se elimino por filtración y se determino el % de agua retenida con respecto al peso inicial, en 3 replicados.

Determinación de la Digestibilidad in vivo

Para la determinación de la digestibilidad de materia seca y de proteína se utilizó la metodología con óxido de cromo descrita en Cruz-Suárez *et al.* 2000. Las fórmulas empleadas para determinar la digestibilidad aparente de la proteína (DAP) y de la materia seca (DAMS) fueron las siguientes:

$$\%DAP = 100 - 100 (\% \text{ cromo en el alimento} / \% \text{ cromo en las heces}) (\% \text{ proteína en las heces} / \% \text{ proteína en el alimento}).$$

$$\%DAMS = 100 - 100 (\% \text{ cromo en la dieta} / \% \text{ cromo en las heces}).$$

El contenido de proteína en alimento y heces fue determinado utilizando 30 mg de alimento y/o heces empleando el método Kjeldhal modificado por Nieto-Lopez *et al.* (1999). Sobre la misma muestra se determinó el contenido de óxido de cromo mediante el método colorimétrico de Bolin *et al.* (1952).

La digestibilidad de energía fue determinada con la misma fórmula que la proteína, pero sustituyendo los valores de proteína de alimentos y heces por los valores de energía. La energía presente en alimentos y heces fue estimada mediante la utilización de una bomba calorimétrica modelo Parr 1425, empleando la metodología descrita en el manual del equipo, con alícuotas de 0.2 g de muestra.

Para la adición de óxido de cromo en los alimentos comerciales se desintegró el alimento y se le adicionó 1% de óxido de cromo, 0.5% de hexametáfosfato de sodio y 1.5% ácido alginico como aglutinante; se le adicionó una cantidad suficiente de agua para tener una humedad aproximadamente del 30% y se peletizó la mezcla de alimento en un molino de carne.

Los bioensayos de digestibilidad se realizaron con ejemplares de *Litopenaeus vannamei* de 8 a 13 g, en un sistema de recirculación de agua marina sintética, a una densidad de 5 organismos por acuario (60L) y en 4 replicados. Se midió diariamente la temperatura y la salinidad y semanalmente la concentración de nitritos, nitratos, amonio y pH del agua (Tabla 2), utilizando kits colorimétricos.

Tabla 2.- Parámetros de calidad del agua

| | Temperatura (°C) | Salinidad (g/L) | pH | N-NH ₃ mg/L | N-NO ₂ mg/L | N-NO ₃ mg/L |
|-----------|---------------------|--------------------|---------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Bioensayo | 27.2±1.4 | 34.8±1 | 7.9±0.1 | 0 | 0.27±0.1 | 26.7±11 |

Antes de empezar a recolectar las heces, los camarones fueron alimentados durante 3 días con la dieta a evaluar. Al cuarto día los camarones fueron privados del alimento durante 24 horas. La recolección de heces se inicio al quinto día. El alimento fue distribuido en 2 raciones diarias para sumar el 7% de la biomasa en el acuario. Los camarones se

alimentaron durante una hora para proceder posteriormente con la colecta de excretas y así minimizar la lixiviación. Posterior a la recolección, las heces fueron lavadas dos veces con agua destilada para eliminar el exceso de sales y evitar la interferencia de estas en los métodos de análisis. Las heces fueron congeladas diariamente a -20°C y guardadas en frascos de vidrio individuales. La colecta se llevo a cabo durante 8 a 10 días o hasta obtener 100 mg de heces en base seca para cada replicado y fueron liofilizadas para su posterior análisis.

La determinación del porcentaje de lixiviación de la materia seca, proteína y energía de las dietas reprocesadas antes de la ingestión permitió corregir los valores de digestibilidad aparente para evitar la sobreestimación provocada por la pérdida de nutrientes en el agua durante el tiempo que pasa el alimento en el fondo del estanque antes de su ingestión por el camarón. La digestibilidad corregida por lixiviación se calculó con la formulas reportadas en Cruz-Suárez *et al.* (2001) que son las siguientes:

Digestibilidad de la proteína corregida por lixiviación: $\% \text{DAP lixcorr} = 100 - 100 [(\% \text{Cr en dieta} / \% \text{Prot. en dieta}) * (\% \text{Prot. en heces} / \% \text{Cr en heces}) * (1 / (1 - \% \text{PP} / 100))]$.

Digestibilidad de la materia seca corregida por lixiviación: $\% \text{DAMS lixcorr} = 100 - 100 [(\% \text{Cr en dieta} / \% \text{Cr. En heces}) * (1 / (1 - \% \text{PMS} / 100))]$.

Métodos in vitro para determinar la digestibilidad de proteína

Determinación de digestibilidad con pepsina diluida

El método de pepsina diluida (método AOAC modificado por el Laboratorio Torry, U.K.) utiliza una concentración de pepsina mil veces menor que el método oficial de la A.O.A.C. Un gramo de muestra es incubado con pepsina por 16h en una solución de ácido clorhídrico 0.075N a 45°C y la solución de reacción es filtrada para retener el insoluble, el cual entonces es analizado por Kjeldhal.

La digestibilidad proteica en pepsina diluida se expresó en un principio como porcentaje de la proteína total inicial en la muestra (Dpep), según el método A.O.A.C. (1990).

También se determinó un porcentaje de digestibilidad corregida en pepsina (Dpepcor), para el cual la proteína insoluble al final de la reacción enzimática es sustraída de la proteína insoluble en ácido (medida por una incubación similar en ausencia de enzima) y el resultado estimado de proteína solubilizada es expresado como un porcentaje de la proteína insoluble en ácido. Este procedimiento es útil para evitar una sobre-estimación de la acción enzimática en harinas de pescado ricas en proteína soluble. Las formulas para determinar la digestibilidad corregida y no corregida con pepsina son las siguientes:

$\text{Dpepcor} = 100 * (\text{NRI-NRI en pepsina}) / \text{NRI en ácido}$

$$D_{\text{pep}} = 100 * (N \text{ total muestra inicial} - \text{NRI en pepsina}) / N \text{ total muestra inicial}$$

Determinación de digestibilidad con enzimas de camarón

El grado de hidrólisis en las dietas fue determinado utilizando dos replicados por muestra. Las muestras a evaluar fueron molidas hasta hacerlas polvo utilizando un Molino Ciclotec con una luz de malla de 35 micras. Una cantidad adecuada de muestra fue homogenizada en 50 mL de buffer tris 50mM, CaCl₂ 20mM y pH 8 en un ultra homogenizador. El contenido de proteína en la suspensión fue de 6.25 mg/mL. La suspensión fue transferida a los vasos reactores para su hidrólisis a un pH de 8 (ajustar con 0.1M NaOH) en presencia de 0.84 ml del extracto enzimático (EE)(actividad proteolítica de 1.48 u por mg de proteína) e incubada a 30⁰C durante 24 horas. Al final de la incubación las muestras fueron filtradas en un papel Watman No. 2 y el residuo de proteína fue determinado por el método Kjeldahl (Martha Nieto-López, tesis de doctorado UANL, publicación en trámite).

La digestibilidad de la proteína fue calculada primero considerando el contenido total de proteína en la muestra, utilizando la misma formula que en el método oficial de la AOAC para digestibilidad con pepsina. Asimismo se corrigieron los valores de digestibilidad considerando solo la fracción de la proteína de la muestra que es insoluble en el buffer. Las formulas usadas para determinar la digestibilidad no corregida y corregida con enzimas de camarón son las siguientes:

$$\% \text{ Digestibilidad (no corregida)} = 100 * [(N \text{ total en la muestra} - \text{NRI en el EE}) / N \text{ total en la muestra}]$$

$$\% \text{ Digestibilidad corregida} = 100 * [(\text{NRI en el buffer} - \text{NRI en el EE}) / \text{NRI en el buffer}]$$

Donde: NRI = Nitrógeno Residual Insoluble

Energía digestible y la relación proteína digestible/energía digestible

Con los resultados obtenidos se calculo la proteína digestible y la energía digestible de cada uno de los alimentos evaluados, así como la relación de estos parámetros.

Análisis estadísticos

Para determinar si existen diferencias significativas entre las digestibilidades obtenidas con respecto a las diferentes dietas o entre los diferentes parámetros fisico-químicos, se realizó una prueba de homogeneidad de varianza (Bartlett), un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación múltiple de medias por el método de Duncan ($\alpha = 0.05$), utilizando el programa estadístico SPSS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis químico de los alimentos

En la Tabla 3 se presenta la composición bromatológica en base húmeda y la energía bruta de los alimentos evaluados.

Tabla 3. Resultados del análisis bromatológico y energía de los 9 alimentos analizados.

| Dieta | Humedad | Proteína | % | | | | Kcal/g | |
|-------|---------|----------|---------|--------|-------|------|--------|--|
| | | | Lípidos | Ceniza | Fibra | ELN | EB | |
| 1 | 7.3 | 34.8 | 8.65 | 10.4 | 3.4 | 35.5 | 4.6 | |
| 2 | 6.9 | 35.9 | 12.38 | 8.9 | 2.5 | 33.4 | 5.0 | |
| 3 | 6.4 | 35.9 | 8.5 | 8.8 | 2.7 | 37.6 | 4.6 | |
| 4 | 8.3 | 40.0 | 8.0 | 9.1 | 5.2 | 29.6 | 4.7 | |
| 5 | 7.8 | 36.3 | 8.5 | 8.4 | 4.7 | 34.4 | 4.8 | |
| 6 | 6.8 | 36.7 | 10.4 | 9.8 | 3.4 | 32.8 | 4.6 | |
| 7 | 8.4 | 35.8 | 7.2 | 9.7 | 2.7 | 36.2 | 4.7 | |
| 8 | 7.7 | 38.9 | 10.6 | 8.9 | 2.7 | 31.3 | 5.0 | |
| 9 | 6.9 | 37.0 | 5.8 | 7.0 | 3.7 | 39.6 | 4.9 | |

En general los alimentos colectados presentan un contenido de proteína igual o superior al 35% esperado de acuerdo a lo reportado en la etiqueta. El contenido de lípidos entre las diferentes marcas, presento una gran divergencia con concentraciones del simple al doble (5.8 a 12.3 %). Cabe señalar que en algunos alimentos la aplicación parcial de aceite es externa y en otros la adición de los lípidos se hace en la mezcladora. Esto se hace aparente a la vista por el color más oscuro y el brillo de los pellets. El alimento 2 se distinguió por su apariencia extremadamente grasa.

En lo referente al contenido de ceniza y fibra la mayoría de los alimentos presentaron niveles por abajo a los máximos recomendados por Akiyama & Lawrence (1993) (15 y 4% respectivamente). La vigilancia de estos valores es importante porque un exceso de estos compuestos tiende a disminuir la digestibilidad de los alimentos.

El contenido de energía bruta vario de 4.6 a 5 kcal/g de alimento. Estos resultados muestran una gran uniformidad en la definición del contenido bruto de nutrientes en los alimentos de 35% de proteína de las diferentes compañías excepto en el contenido energético afectado principalmente por el contenido de lípidos.

Estabilidad de los alimentos comerciales

En la Tabla 4 se presentan los resultados de estabilidad en el agua de los alimentos comerciales evaluados.

En general la estabilidad de todos los alimentos fue buena. La PMS de los alimentos 4 a 8 fue alrededor de 5 %, un valor normal para alimentos comerciales pero fue especialmente

baja (2%) para las dietas 1, 2, 3 y 9. El exceso de grasa aplicada externamente al alimento 2 podría explicar en parte la baja PMS que éste presentó. Aunque otros alimentos también fueron asperjados con aceite, el efecto protector no fue tan evidente. Cruz-Suárez *et al.* (2000) reportan valores de PMS de alimentos comerciales peletizados con aplicación externa de aceite, con diferentes niveles de proteína (25 a 40%) y con aglutinante sintético o harina de kelp, en un rango de 1.8 a 8.5 %, teniendo los menores valores en los alimentos con el aglutinante sintético, con los niveles de 30% de proteína y con una mayor proporción de proteína animal que vegetal.

Tabla 4. Perdidas de materia seca, de proteína y energía en alimentos comerciales originales (PMS, PP y PE)

| | % PMS | % PP | % PE |
|-------------|------------|-----------|------------|
| 1 | 1.8±0.3 ab | 5.6±0.2cd | 8.1±0.3ab |
| 2 | 1.7±0.6 a | 12.3±0.1f | 11.5±1.7b |
| 3 | 2.4±0.1 ab | 7.9±0.2e | 4.9±1.8a |
| 4 | 4.7±0.3 c | 10.5±1.7f | 10.0±0.6ab |
| 5 | 4.5±0.3 c | 1.8±0.6b | 10.9±2.4b |
| 6 | 6.3±0.5 e | 6.9±2.3de | 11.7±1.6b |
| 7 | 5.5±0.4 d | -3.5±0.5a | 10.9±7.0b |
| 8 | 4.9±0.8 cd | 3.9±0.8c | 18.6±1.5c |
| 9 | 2.5±0.2 b | 8.3±0.5e | 17.1±2.0c |
| Prob. ANOVA | 0.000 | 0.000 | 0.001 |

PCM = Prueba de comparación múltiple. Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre promedios (Duncan $\alpha=0.05$).

La PP fue más variable que la PMS: Los alimentos perdieron desde 0 hasta 12% de su proteína, en la primer hora de lixiviación. En el alimento 7, el valor de pérdida de proteína negativo es debido al error analítico y en realidad corresponde a una pérdida de proteína nula; en el caso del alimento 2, el valor de PP tan alto (12%) es incongruente con la PMS encontrada, probablemente porque hubo una mala determinación de la proteína residual a causa del alto contenido de grasa del alimento. Cruz-Suárez *et al.* (2000, *op. cit.*), reportan valores de PP en un rango de 0.88 a 9.1 %, teniendo los menores valores en las mismas condiciones reportadas para PMS.

La PE de la mayoría de los alimentos es del orden del 10 % en la primera hora de estancia en el agua. Solo el alimento 3 perdió 5% de su energía bruta en contraste con los alimentos 8 y 9 que perdieron 17 y 19% de su energía, muy probablemente por lixiviación de lípidos.

Parámetros físicos de los alimentos

En la Tabla 5 se presentan los resultados de los parámetros físicos evaluados.

Tabla 5. Resultados de parámetros físicos evaluados en los alimentos comerciales

| Alimento | Densidad | #Pellets/g | Diámetro del pellet | | | Longitud del pellet | | Finos % | A. A. % |
|-------------|----------|-------------|---------------------|----------|----|-----------------------|----|---------|-------------|
| | | | mm | pulgadas | CV | mm | CV | | |
| 1 | 1.3 | 32±2 b | 2.3±0.23b | 3/32 | 11 | 5.9±1.29bc | 22 | 1.4 | 54.3±4.7a |
| 2 | 1.3 | 34.3±1.5 bc | 2±0.00a | 5/64 | 0 | 7.5±2.70de | 36 | 3.5 | 83.0±5.9bc |
| 3 | 1.4 | 36.7±1.5 c | 2±0.00a | 5/64 | 0 | 4.9±1.59ab | 32 | 1.4 | 81.3±3.2b |
| 4 | 1.3 | 36.7±1.5 c | 2±0.00a | 5/64 | 0 | 5.2±1.28abc | 25 | 2 | 72.5±3.9b |
| 5 | 1.3 | 25.7±1.5 a | 2.3±0.26b | 3/32 | 12 | 6.4±2.45cd | 39 | 1 | 102.4±4.8d |
| 6 | 1.2 | 53±1.7 d | 2.2±0.24ab | 3/32 | 11 | 4.2±0.64 ^a | 15 | 0.7 | 72.9±9.2b |
| 7 | 1.3 | 36.7±2.5 c | 2±0.00a | 5/64 | 0 | 6.3±1.95c | 31 | 0.5 | 71.3±8.5b |
| 8 | 1.3 | 34.3±3.8 bc | 2.5±0.00c | | 0 | 5.7±1.77bc | 31 | 2.7 | 76.5±8.4b |
| 9 | 1.4 | 25.7±1.5 a | 2.1±0.16a | 5/64 | 8 | 8.4±1.22e | 15 | 0.8 | 94.2±10.1cd |
| Prob. ANOVA | | 0.000 | 0.000 | | | 0.000 | | | 0.000 |

PCM = Prueba de comparación múltiple. Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre promedios (Duncan $\alpha=0.05$).

AA = Absorción de agua después de 1 hora de estancia en el agua destilada

PMS = Pérdida de Materia Seca, después de 1 hora de permanencia en el agua marina

PP = Pérdida de proteína, después de 1 hora de permanencia en el agua marina

PE = Pérdida de energía, después de 1 hora de permanencia en el agua marina

Se observa que existe una gran variedad en el tamaño y densidad de los pellets de los alimentos consumidos en México, teniendo un rango desde 25.7 hasta 53 pellets/gramo de alimento. Este factor puede ser interesante desde el punto de vista práctico, al considerar la disponibilidad de alimento por camarón en el estanque. Lo ideal es que en cada alimentación, se ofrezca al menos un pellet por animal.

Por otro lado, la variabilidad en la longitud, el diámetro del pellet y el % de finos está relacionada a aspectos de tecnología, aunque en el caso de la longitud y del % de finos, pueden también modificarse por manipulación. El proceso de peletización o de extrusión debe ser controlado para producir pellets con longitudes y diámetros uniformes. Mientras más corto es el pellet, menor es la posibilidad de romperlo y mayor es el número de pellets/g. El proceso de extrusión produce pellets de menor densidad como es el caso del alimento 6, que en este caso además es más corto, de tal manera que el número de pellets/g resultado mucho mayor. Los cv de los diámetros reportados para los diferentes alimentos, se pueden ligar a problemas de orden tecnológico mientras que los elevados cv encontrados en la longitud de los pellets, de algunos alimentos, se pueden deber también a manipulación.

Aparte de la relación número de pellets/g de alimento, el tamaño de los pellets *per se*, al igual que el color, no tiene mayores implicaciones para los camarones. En términos generales el tamaño de los pellets de los 9 alimentos puede considerarse como adecuado, teniendo en cuenta que estos alimentos comienzan a distribuirse cuando los camarones han alcanzado pesos superiores a 1 g. Sin embargo, sería interesante hacer el cálculo de número de camarones que se están alimentando con cada ración de acuerdo a las densidades de siembra de cada estanque.

El porcentaje de finos es un parámetro de calidad de los alimentos que se debe evaluar al momento de la recepción de los alimentos en granja, ya que los finos constituyen un desperdicio y una fuente de contaminación en los estanques. Por regla general un alimento no debe contener un nivel de finos superior al 1%. Pero hay que descartar que estos finos no se hayan generado después del empaçado. En este caso particular, al igual que la longitud, los valores de % de finos, solo se reportaron de una manera descriptiva porque no se tuvo un estricto control del momento en que se generaron los finos, ni del grado de manipulación que tuvo cada uno de los alimentos colectados, antes de hacer esta determinación.

Generalmente, se le ha puesto poco interés a la evaluación de la capacidad de retención de agua del alimento y al efecto que esto tiene sobre su textura, su consumo y su digestibilidad. Foster (1972) al evaluar diferentes aglutinantes en *P. serratus*, reporta que los alimentos tipo gel, a pesar de tener menores digestibilidades, daban mejores crecimientos, que alimentos en pasta y que alimentos peletizados secos. Teshima & Kanasawa (1983) al evaluar alimentos microparticulados con carrageninas encontraron que a mayor contenido de humedad en los alimentos había mayor palatabilidad y consumo que con alimentos secos. Recientemente, Cruz-Suárez *et al.*, 2000, con la inclusión de harina de kelp y sus fíco-coloides han detectado una mayor capacidad de absorción de agua en los alimentos al entrar en contacto con el agua y el desarrollo de una textura suave tipo gel, que hace que el consumo del alimento aumente y con ello el crecimiento. Estos autores, reportaron valores de absorción de agua de 70 % y 140% en alimentos comerciales peletizados con Maxibond® y con 4% harina de kelp como aglutinantes, respectivamente. En un trabajo más reciente, Cruz-Suárez *et al.* (2002) reportan valores de absorción de agua superiores a 140 en alimentos comerciales ecuatorianos peletizados (28% de proteína) con 3.5 % de harina de kelp, y menores de 120% cuando la harina de kelp fue substituida por el aglutinante Pegabind®. No se ha encontrado una correlación significativa entre el % de absorción de agua y la estabilidad de los alimentos en el agua.

Al analizar los valores encontrados, se podría inferir que 2 de los 9 alimentos evaluados tienen harina de kelp o fíco-coloides en su fórmula.

La evaluación de la textura como un método potencial de control de calidad en alimentos tanto secos como húmedos y su correlación con el crecimiento ha sido reportada recientemente por Obaldo (2002). Se tiene contemplado hacer este tipo de análisis con los 9 alimentos evaluados en este trabajo, incluyendo la capacidad de absorción de agua como otra variable.

Estabilidad de los Alimentos reprocessados con cromo

Los resultados de pérdida de materia seca, de proteína y de energía en los alimentos reprocessados con cromo (PMScr, PPer y PEcr) se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Perdidas de materia seca, de proteina y energía en los alimentos reprocessados con cromo (PMScr, PPer y PEcr).

| | %PMS | %PP | %PE |
|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Zeigler | 8.28±0.17cd | 18.05±1.66cd | 14.16±0.30bc |
| Nassa | 8.51±0.55d | 23.83±4.22e | 17.62±1.58cd |
| AS | 5.47±0.33a | 15.65±2.28bc | 7.88±1.77a |
| Silver | 5.52±0.40a | 12.72±0.86b | 10.75±0.58ab |
| Malta | 10.19±0.13e | 18.41±0.34cd | 16.15±2.27cd |
| Rangen | 8.57±0.45d | 20.51±2.53de | 13.83±1.53bc |
| Purina | 11.12±0.75f | 8.41±0.52a | 16.17±6.57cd |
| Cenzona | 7.58±0.20c | 12.28±1.43b | 20.87±1.42d |
| Piasa | 6.71±0.52b | 8.11±0.86a | 20.68±2.21d |
| Prob. ANOVA | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

Los valores de pérdida de materia seca y de proteína de las dietas reprocessadas (PMScr y PPer) resultaron más elevados que para los alimentos originales, pero están en el rango normal de las dietas elaboradas en nuestro laboratorio (5-10%). Cabe mencionar que la dieta 7 también tuvo un valor de pérdida de proteína muy bajo en el caso de la dieta reprocessada, lo que corresponde posiblemente a un contenido de proteína soluble especialmente bajo en el alimento original. Son estos valores (PMScr, PPer y PEcr) los que se usan para calcular el valor de digestibilidad *in vivo* corregido por lixiviación (DAMS lixcor, DAP lixcor y DAE lixcor).

Digestibilidad in vivo (proteína, materia seca y energía)

La Tabla 7 muestra los valores promedio y la desviación estándar de la Digestibilidad Aparente de la Proteína (DAP), la DAP corregida por lixiviación (DAP lixcor), la Digestibilidad Aparente de la Materia Seca (DAMS) y la DAMS corregida por lixiviación (DAMS lixcor) y de la Digestibilidad Aparente de la Energía (DAE) y la DAE corregida por lixiviación (DAE lixcor). Asimismo se muestran las pruebas de comparación múltiple obtenidas para cada parámetro.

Tabla 7. Digestibilidad *in vivo* de proteína, materia seca y energía, y valores corregidos por lixiviación

| Alimento | DAP | DAP lixcor | DAMS | DAMS lixcor | DAE | DAE lixcor |
|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|-------------------------|
| 1 | 71.4±2.6a | 65.2±3.1a | 68.2±1.9a | 65.3±2.1a | 76.1±1.7 ^a | 73.9±1.8 ^a |
| 2 | 75.3±3.3b | 67.6±4.4a | 72.8±3.1cd | 70.3±3.4bc | 78.0±4.4ab | 75.9±4.9 ^a |
| 3 | 80.4±1.1cb | 76.8±1.3cde | 72.56±2.1c | 70.9±2.2cd | 78.2±2.1ab | 76.1±2.3 ^a |
| 4 | 75.0±1.4b | 71.4±1.6b | 69.3±1.7ab | 67.5±1.8ab | 75.9±1.5 ^a | 74.1±1.54a |
| 5 | 83.07±2.2de | 79.2±2.7def | 74.7±1.9cde | 71.9±2.1cd | 82.7±1.3c | 81.1±1.3c |
| 6 | 81.30±1.1cde | 76.5±1.4cd | 71.9±1.3bc | 69.3±1.4bc | 79.1±2.1ab | 76.9±2.3 ^a b |
| 7 | 84.15±1.9e | 82.7±2.1f | 75.7±2.4de | 72.7±2.7cd | 83.3±1.4c | 82.4±1.3c |
| 8 | 78.4±2.3c | 75.4±2.6c | 75.9±1.6e | 74.0±1.7d | 81.4±0.6bc | 79.9±0.9bc |
| 9 | 81.9±0.6de | 80.4±0.7ef | 72.1±0.8bc | 70.1±0.8bc | 78.91.8ab | 77.4±2.2 ^a b |
| Prob. ANOVA | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

PCM = Prueba de comparación múltiple. Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre promedios (Duncan $\alpha=0.05$).

La prueba de homogeneidad de varianza (Bartlett), indica varianzas homogéneas entre dietas ($P = 0.057$ a 0.146).

Lógicamente los valores de digestibilidad *in vivo* corregidos por lixiviación son ligeramente más bajos ya que en el calculo no corregido se incluyen dentro de lo digerido los nutrientes perdidos en el agua antes de la ingestión.

La digestibilidad de proteína mostró mayores diferencias entre los alimentos (rango 65 - 83%) que las digestibilidades de materia seca (65-74%) o energía (74-82%); considerando que materia seca y energía conjuntan proteína, lípidos, carbohidratos, y además minerales en el caso de materia seca, parece posible que las variaciones propias de digestibilidad de los otros nutrientes hayan enmascarado o compensado parcialmente las de la proteína. Tal vez por esta razón, la primera posición de la dieta 7 en digestibilidad de proteína no se conservó en digestibilidad de materia seca. (Fig. 1).

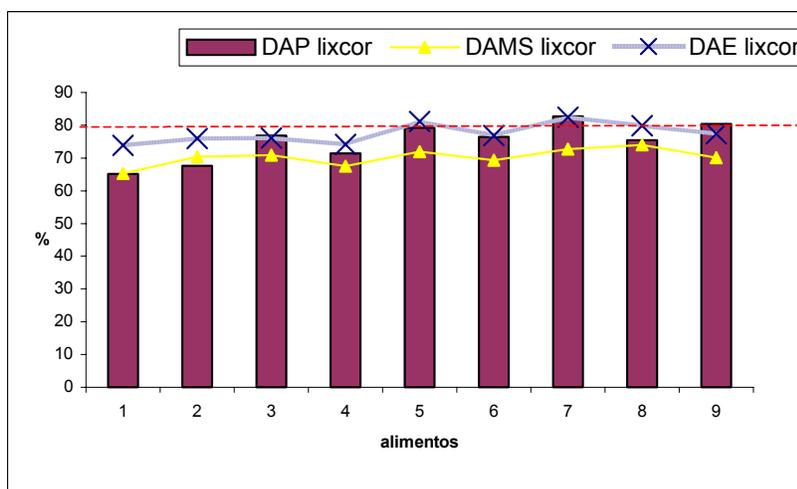


Fig. 1. Digestibilidades de proteína, materia seca y energía de los alimentos evaluados

Se observa un cierto paralelismo en la clasificación de las dietas entre digestibilidad de materia seca y digestibilidad de energía (excepto en la posición de la dieta 7), con una ventaja a favor de la digestibilidad de energía de 5 a 8% según la dieta.

Por otro lado, si la digestibilidad de la proteína de los alimentos es buena, y sabiendo que la digestibilidad de los lípidos por lo general es elevada, se puede deducir que la digestibilidad de la materia seca es alterada o restringida debido a la mala digestibilidad de los carbohidratos, utilizados en las formulas. Hay alimentos que tienen que mejorar solo la calidad de sus carbohidratos, como el 5, 7 y 9 y otros como el 1, 2 y 4 que tienen que mejorar en general la calidad de los ingredientes fuentes de estos 2 tipos de nutrientes.

De manera general, los resultados de digestibilidad están abajo del valor deseado de 80% (Romero & Manrique, 1993), sobre todo los de digestibilidad de materia seca.

Digestibilidad in vitro de la proteína

Los resultados promedio, la desviación estándar y las pruebas de comparación de la Digestibilidad con Pepsina (DPEP), la Digestibilidad con Pepsina corregida por solubilidad (DPEP solcor), la Digestibilidad con Enzima de Camarón (DCAM) y la Digestibilidad con Enzima de Camarón corregida (DCAM solcor) se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Digestibilidad *in vitro* de proteína con pepsina o enzima de camarón, y valores corregidos por solubilidad en el buffer

| Alimento | DPEP ¹ | DPEP solcor ² | DCAM ³ | DCAM solcor ⁴ |
|-------------|-------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|
| 1 | 42.4±1.7 b | 35.7±1.9 bc | 20.5±2.2 a | 13.9±2.4 ab |
| 2 | 57.9±0.3 e | 38.9±0.4 cd | 21.7±4.2 ab | 8.3±4.9 a |
| 3 | 52.2±1.9 d | 40.7±2.5 d | 21.0±5.8 ab | 12.4±6.5 ab |
| 4 | 51.4±0.6 d | 32.8±0.9 ab | 23.6±1.9 abc | 12.5±2.2 ab |
| 5 | 51.6±0.3 d | 42.4±0.3 d | 32.9±1.6 e | 12.0±2.0 ab |
| 6 | 38.8±4.2 a | 30.6±4.8 a | 30.9±2.9 de | 15.6±3.6 b |
| 7 | 47.8±1.3 c | 40.9±1.5 d | 27.7±2.1 cde | 13.9±2.5 ab |
| 8 | 65.2±0.9 f | 49.2±1.3 e | 29.1±1.1 cde | 14.7±1.3 ab |
| 9 | 42.6±0.7 b | 35.4±0.8 bc | 26.5±2.7 bcd | 14.9±3.1 ab |
| Prob. ANOVA | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.366 |

¹Proteína solubilizada por la pepsina, expresada en % de la proteína total

²Proteína solubilizada por la pepsina, expresada en % de la proteína insoluble a PH ácido

³Proteína solubilizada por el homogenizado de hepatopáncreas de camarón, expresada en % de la proteína total

⁴Proteína solubilizada por el homogenizado de hepatopáncreas de camarón, expresada en % de la proteína insoluble a PH básico

PCM = Prueba de comparación múltiple. Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre promedios (Duncan $\alpha=0.05$).

La prueba de homogeneidad de varianza (Bartlett), mostro diferencias significativas (P= 0.003 a 0.008).

Los valores de digestibilidad *in vitro* corregidos por solubilidad son más bajos porque en el cálculo no corregido se incluye dentro de la proteína digerida (es decir solubilizada por la enzima) la que ya estaba soluble naturalmente en el buffer.

Se observa que la corrección por solubilidad tuvo un efecto mucho mayor sobre el valor de digestibilidad con enzimas de camarón que sobre el valor de digestibilidad con pepsina (ver figuras 1 y 2 en la sección siguiente). Al revisar el grado de solubilidad de la proteína en los diferentes alimentos (comerciales originales) en las soluciones buffer usadas para la incubación con las enzimas, se descubrieron variaciones importantes de comportamiento de la proteína entre alimentos, lo que explica el cambio de perfil de las figuras solcor con respecto a las figuras sin corrección, pero en promedio, la solubilidad de la proteína no fue mayor a pH 8 (incubación con enzima de camarón) que a pH 2 (incubación con pepsina) (Tabla 9). Por lo tanto el efecto de la corrección por solubilidad fue relativamente mayor en el caso de la digestibilidad con enzima de camarón simplemente porque la actividad del extracto enzimático de camarón fue inferior a la actividad de la solución de pepsina utilizada.

Tabla 9. Solubilidad de la proteína de los alimentos

| Alimento | Solubilidad (%) a pH ácido 2 | Solubilidad (%) A pH básico 8 |
|----------|---------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 10.4 | 7.7 |
| 2 | 31.2 | 14.6 |
| 3 | 19.4 | 9.8 |
| 4 | 27.7 | 12.6 |
| 5 | 16.0 | 23.7 |
| 6 | 11.8 | 18.3 |
| 7 | 11.6 | 16.0 |
| 8 | 31.5 | 16.9 |
| 9 | 11.2 | 13.7 |
| Promedio | 19.6 ± 10.1 | 14.8 ± 4.7 |

De manera general, los valores de digestibilidad obtenidos con pepsina y enzimas de camarón fueron inferiores, por mucho, a los obtenidos *in vivo*, probablemente en razón de concentraciones relativamente bajas en enzimas; el uso de pepsina diluida fue promovido por el laboratorio de Torry con el objeto de evitar obtener digestibilidades muy altas y poco diferenciadas entre ingredientes. Finalmente, aunque los valores de digestibilidad *in vitro* sean más bajos que *in vivo* lo importante es obtener una buena correlación entre resultados *in vitro* e *in vivo*, que sea la base para cálculos de regresión.

Correlación entre los valores de digestibilidad obtenidos con diferentes métodos

Se examinó la correlación de los valores de digestibilidad obtenidos *in vivo* e *in vitro*; los coeficientes de correlación de Pearson y su significancia se dan en la Tabla 10.

Tabla 10. Análisis de correlación entre DAP y DAP lixcor, y DPEP, DPEP solcor, DCAM y DCAM solcor

| | | DPEP | DPEP solcor | DCAM | DCAM solcor |
|------------|-----------------------|-------|-------------|--------|-------------|
| DAP | Coef. Correlación | -.128 | .207 | .697 * | .307 |
| | Significancia (prob.) | .742 | .594 | .037 | .422 |
| DAP lixcor | Coef. Correlación | -.119 | .225 | .655 | .429 |
| | Significancia (prob.) | .760 | .561 | .055 | 0.250 |

* correlación significativa (P<0.05)

Solo la digestibilidad *in vitro* obtenida con enzimas de camarón, y sin corrección por solubilidad de la proteína (DCAM) tiene correlación significativa con la digestibilidad de proteína *in vivo* (DAP) así como su homóloga corregida por lixiviación (DAP lixcor) (probabilidades cercanas al 0.05: P=0.037 <0.05 y P=0.055 ≥0.05). Al contrario, la digestibilidad *in vitro* con pepsina no tiene correlación con los valores obtenidos *in vivo*.

La mejor confiabilidad de las pruebas con enzimas de camarón para predecir la digestibilidad de la proteína en alimentos compuestos ya había sido observada en un estudio sobre harinas de pescado (Cruz-Suárez *et al.*, 1998): la pepsina diluida (método de Torry) permitió una buena estimación comparada de la digestibilidad de diferentes harinas de pescado, teniendo correlación significativa con los datos *in vivo*, pero no sirvió para estimar la digestibilidad de dietas compuestas que incluían estas harinas; mientras que las enzimas de camarón, usadas en un equipo pHStat, permitieron una buena estimación de la digestibilidad de las harinas de pescado, y también de los alimentos compuestos que las incluían. En el presente trabajo, se confirma la bondad del extracto de hepatopancreas para predecir la digestibilidad de alimentos compuestos en camarón, pero con un método tipo AOAC, basado en la cuantificación de la proteína insoluble, mucho más fácil de llevar a cabo en muestra seriadas que el método de pHStat, el cual además requiere de un equipo particular.

Es interesante comparar el efecto de la corrección por solubilidad sobre los resultados de las pruebas con pepsina y enzimas de camarón: la corrección por solubilidad mejora la correlación entre los resultados de digestibilidad con pepsina y los valores de digestibilidad *in vivo* (Fig. 2), pero tiene un efecto contrario sobre la correlación entre la digestibilidad con enzimas de camarón y las digestibilidad *in vivo* (Fig. 3); esto probablemente es debido al comportamiento diferente de las proteínas de los alimentos en medio ácido o básico.

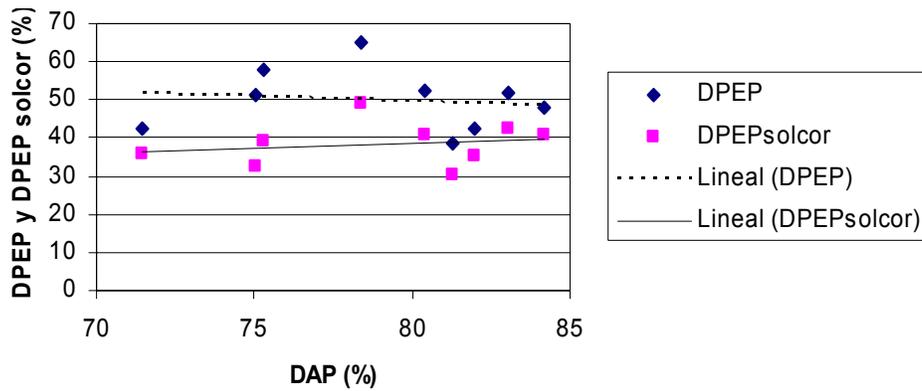


Figura 2. Correlación entre digestibilidad de proteína *in vivo* (DAP) y digestibilidad *in vitro* con pepsina (DPEP), o digestibilidad *in vitro* con pepsina corregida por la solubilidad de la proteína (DPEP solcor).

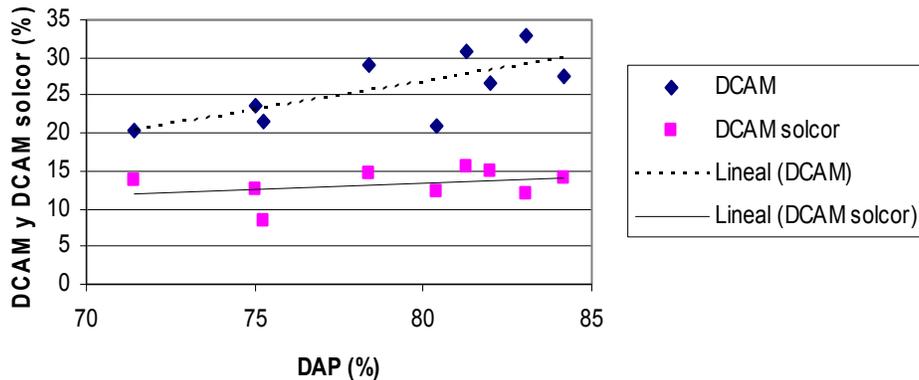


Figura 3. Correlación entre digestibilidad de proteína *in vivo* (DAP) y digestibilidad *in vitro* con enzimas de camarón (DCAM), o digestibilidad *in vitro* con enzimas de camarón corregida por la solubilidad de la proteína (DCAM solcor).

Al tener una correlación significativa entre DCAM y DAP o DAP lixcor, se pueden usar ecuaciones de regresión para estimar la digestibilidad en laboratorio a partir de los análisis *in vitro* con enzimas de camarón (Fig. 4).

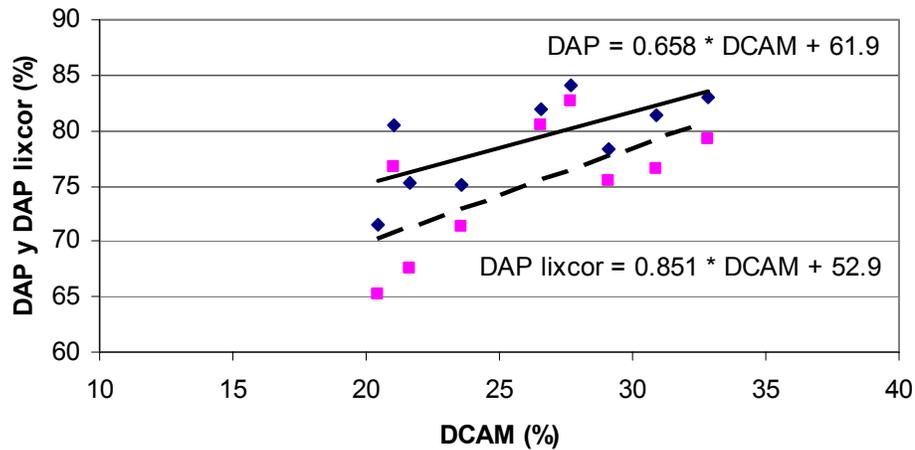


Figura 4. Regresión de los valores obtenidos *in vitro* hacia una estimación de la digestibilidad *in vivo*

Relación proteína digestible/energía digestible de los alimentos evaluados

Los valores de la relación proteína/energía de los alimentos evaluados son presentados en la Tabla 11.

Tabla 11- Valores brutos y digestibles de proteína y energía (en base seca) y relación proteína digestible/energía digestible de 9 alimentos para camarón usados por los productores de México en 2001

| Dieta | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Valor recomendado |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------------|
| % Proteína | 37.5 | 38.6 | 38.4 | 43.6 | 39.3 | 39.4 | 39.1 | 42.1 | 39.7 | Disminuir a 30 o 25% |
| % PD | 24.5 | 26.1 | 29.5 | 31.1 | 31.1 | 30.1 | 32.3 | 31.7 | 31.9 | 24* |
| Energía Bruta (Kcal/g) | 4.6 | 5 | 4.6 | 4.7 | 5 | 4.6 | 4.7 | 5 | 4.9 | |
| E D (Kcal/g) | 3.3 | 3.8 | 3.5 | 3.5 | 4 | 3.6 | 3.8 | 4 | 3.8 | 3.6* |
| PD/ED(mg prot/kcal) | 74.1 | 68.7 | 84.3 | 88.9 | 77.8 | 83.7 | 85.1 | 79.4 | 84 | 64 -66* |
| ED/PD (Kcal/g prot) | 13.5 | 14.6 | 11.9 | 11.3 | 12.9 | 12.0 | 11.8 | 12.6 | 11.9 | 15.2 |

PD = Proteína digestible, ED = Energía digestible. * Cruz et al 2000 y Velasco et al 2000.

En estudios realizados recientemente por Cruz *et al.* (2000) y Velasco *et al.* (2000) se han definido requerimientos de proteína y energía digestibles para camarón blanco en medio controlado y en ausencia de producción natural, de 24% y 3.6Kcal/g.

Al comparar los valores de proteína bruta y digestible se observa que la proteína disponible en cada alimento es en promedio 10 puntos menor (Fig. 5). Aún a pesar de esto, todos los alimentos cubren el valor recomendado de proteína digestible, aunque algunos de manera limite y otros con franco exceso, lo cual es poco rentable ya que se esta desperdiciando

proteína y dinero, especialmente en los casos de los alimentos que ya tienen una proteína con buena digestibilidad.

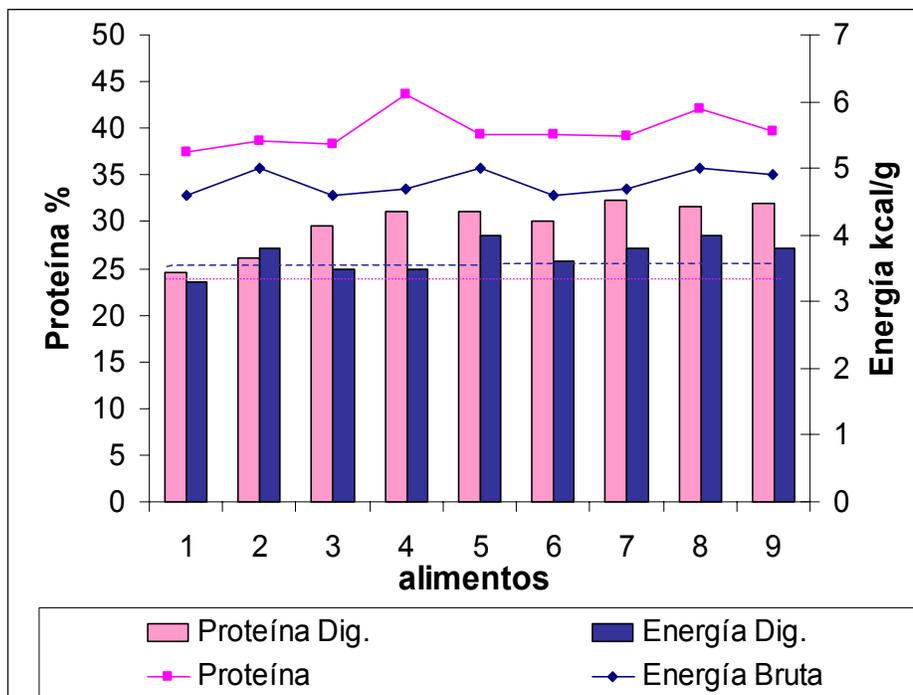


Fig. 5 Contenido de proteína y energía brutas vs digeribles en alimentos evaluados. Las líneas punteadas indican los niveles digeribles recomendados.

En el caso de la energía digerible algunos alimentos están justo por abajo del nivel recomendado y otros lo exceden.

Dado que el nivel de **proteína digerible** recomendado está muy por debajo de los niveles que presentan algunos de los alimentos que están utilizando los productores del país, se recomienda tratar de bajar a los niveles recomendados. Es importante remarcar que para ello es imprescindible conocer la proteína digerible del alimento en lugar de la proteína bruta, que es la que actualmente es garantizada. Esto no solo permitirá un menor impacto ambiental, sino también permitirá reducir los costos de producción y mejorar la eficiencia alimenticia. A la luz de los resultados es evidente que no todas las compañías de alimentos están en la posición de hacer esto, pues sus alimentos aun no son lo suficientemente digeribles.

El requerimiento de nutrientes para cada estado fisiológico debe estar referido al peso del animal (g) y a una unidad de tiempo, por ejemplo mg de proteína digerible/g de camarón/día. De tal manera que adicionalmente al contenido de proteína digerible de los alimentos, existe una amplia gama de combinaciones y estrategias para cubrir los

requerimientos considerando la cantidad de alimento suministrado y la frecuencia de alimentación así como la aportación de nutrientes de la producción natural. Pero para poder llegar a este grado de finesa en los programas de alimentación, primero se deben conocer en detalle las especificaciones nutricionales y físicas de los alimentos balanceados y la constancia de su calidad.

CONCLUSIONES

Debido a los hábitos alimenticios particulares del camarón (consumidores lentos), la evaluación de la digestibilidad de alimentos para camarón requiere de una atención particular dedicada a la pérdida de nutrientes en el agua. En el presente trabajo, el cálculo de la digestibilidad se ajustó para descontar de lo ingerido los nutrientes perdidos en el agua antes de la ingestión de alimento por el camarón. Al tomar en cuenta las pérdidas de proteína en los cálculos de digestibilidad, el número de alimentos que superan el 80% de digestibilidad proteica pasó de 5/9 a 2/9. En cuanto a digestibilidad de materia seca, todos los alimentos examinados estuvieron abajo del 80%, con o sin corrección por lixiviación de materia seca. La digestibilidad de la energía en dietas para camarón determinada sin corrección apareció menos sobreestimada, probablemente en razón de la menor solubilidad de los lípidos dietarios en el agua, pero aún así, solo dos o tres alimentos alcanzaron el valor deseado de 80%. Hasta ahora ninguna compañía anuncia o garantiza en la etiqueta la digestibilidad de los alimentos que comercializa, pero se debe seguir haciendo esfuerzos para mejorar y garantizar este parámetro.

Se confirma que la evaluación *in vitro* de la digestibilidad de los alimentos compuestos para camarón no es posible con la pepsina empleada en concentración diluida, mediante la variante de Torry del método AOAC recomendada para estimar la digestibilidad de harinas de pescado en organismos acuáticos. En contraste, un extracto enzimático de hepatopáncreas de camarón, empleado con los mismos principios que en el método AOAC con pepsina, permitió una estimación confiable de la digestibilidad *in vivo*, lo que abre perspectivas alentadoras en cuanto a la disponibilidad de pruebas rápidas para el monitoreo en laboratorio y a mayor escala de la digestibilidad de los alimentos comerciales para camarón.

Los alimentos comerciales disponibles en México ofrecen un amplio abanico de características físico-químicas y nutricionales; el control de estas características a la recepción del alimento en la granja o al momento de seleccionar proveedores debe integrarse en las Buenas Prácticas de Manejo, para usar el alimento mejor adaptado a las condiciones de cultivo en cada granja con la mejor relación costo-beneficio.

REFERENCIAS

- Akiyama, D., Dominy, W., Lawrence, A. L., 1993. Nutrición de camarones peneidos para la industria de alimentos comerciales. En Cruz-Suárez L.E., Ricque-Marie D. y Mendoza-Alfaro R. (Eds) *Memorias del Primer Simposium Internacional de Nutrición y Tecnología de Alimentos Para Acuicultura*. F.C.B. - U.A.N.L., Monterrey, N.L. México. 1993
- Akiyama, D., Norman, L. W., Chwang., 1989. Shrimp Feed Requirements and Feed Management pp. 75-82. In: *Proceedings of the Southeast Asia shrimp farm management workshop*. American Soybean Association, 140p.
- AOAC. *Officials Methods of Analysis*. 12a Ed., Horritz E. (editor). Association of Official Analytical Chemists, U.S.A. 1990; 1094pp.
- Aquacop. Study on nutritional requirements and growth of *Penaeus merguensis* in tanks by means of purified and artificial diets. *Proceedings of the World Mariculture Society Annual Meeting*. 1978; 9: 225-3-234.
- Bolin, D. W., King, R. P., Klosterman, E. W., 1952. A simplified method for the determination of chromic oxide (Cr₂O₃) when used as an index substance. *Science*. 116(3023): 634-635
- Brown, P., Robinson, E., Clark, A., Lawrence, A. L., 1989. Apparent Digestible Energy Coefficients And Associative Effects In Partial Diets For Rid Swamp Crayfish". *Journal of The World Aquaculture Society*. 20(3):122-126.
- Carrillo, O. F., 1994. Producto multienzimático del hepatopáncreas de camarón: reactivo y suplemento dietético. *Memorias del Segundo Simposium Internacional de Nutrición Acuicola, 7-9 Noviembre*. F.C.B.-U.A.N.L., Monterrey, Nuevo León. 21-26.
- Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Nieto-Lopez, M., Tapia Salazar, M., 1998. "Revisión Sobre Calidad de Harinas y Aceites de Pescado para la Nutrición de Camarón". Avances en Nutrición Acuicola IV. IV Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. 15-18 Noviembre, 1998. La Paz, B.C.S. Editores: Roberto Civera Cerecedo, Claudia J. Perez Estrada, Denis Ricque Marie y L. Elizabeth Cruz Suárez, pp
- Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, Tapia-Salazar, M., Guajardo-Barbosa, C., 2000. Uso de harina de kelp (*Macrocystis pyrifera*) en alimentos para camarón. Avances en Nutrición Acuicola V. Quinto Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. 19-22 Noviembre, 2000. Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados – I.P.N. Mérida, Yucatán. Editores: L. Elizabeth Cruz Suárez, Miguel A. Olvera Novoa, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar y Roberto Civera Cerecedo.
- Cruz-Suárez, L. E., Antimo-Pérez, J. S., Luna-Mendoza, N., Tapia-Salazar, M., Guajardo Barbosa, M., Ricque-Marie, D., 2000. Relaciones proteína/energía y proteína vegetal/animal optimas en alimentos de engorda para *Litopenaeus vannamei* y *L. stylirostris*. Avances en Nutrición Acuicola V. Memorias del Quinto Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. 19-22 Noviembre, 2000. Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados – I.P.N. Mérida, Yucatán. Editores: L. Elizabeth Cruz Suárez, Miguel A. Olvera Novoa, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar y Roberto Civera Cerecedo.
- Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., McCallum, I. M., Hickling, D., 2001. Assessment of differently processed feed pea (*Pisum sativum*) meals and canola meal (*Brassica* sp.) in diets for blue shrimp (*Litopenaeus stylirostris*). *Aquaculture*. 196, 87-104
- Cho, C. Y., Kaushik, S. J., Luquet, P., 1993. Digestibility of feedstuffs as a major factor in aquaculture waste management. En *Fish nutrition in practice*. Colloquium Number 61. Institut National de la Recherche Agronomique, París, France. 365-374
- Cho, C. Y., Hynes, J. D., Wood, K. R., Yoshida, H. K., 1994. Development of high nutrient-dense, low-pollution diets and prediction of aquaculture wastes using biological approaches. *Aquaculture*. 124:293-305.
- Forster, J. R. M., 1972a. Some methods of binding prawn diets and their effects on growth and assimilation. *Journal du Conseil International pour l'Exploitation de la Mer* 34:200-216.
- Hajen, W., Beames, R., Higgs, D., Dosanjh, B., 1993. Digestibility of various feed stuffs by post-juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in sea water. Validation of technique. *Aquaculture*. 112:321-332

- Kossman, H. 1989. Present status and problems of aquaculture in the Nordic Countries with special reference to fish feed. Proceedings of the Third International Symposium on Feeding and Nutrition in Fish. Toba August 28-September 1, Japan. Pp. 27-39.
- Lee, P., Lawrence, A., 1997. Digestibility. In: D'Abramo, L.R., Conklin, D.E., Akiyama, D.M, (Eds), Crustacean Nutrition. *Advances in World Aquaculture*, The World Aquaculture Society, Louisiana State University, Baton Rouge, USA, 6: 194-260.
- Nieto-López, M. G., 1995. Efectos de las diferencias en el procesamiento de las harinas de pescado y la toxicidad de las mismas sobre la digestibilidad aparente del camarón blanco del pacífico (*Penaeus vannamei*, Boone), en condiciones de laboratorio. Tesis De Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma De Nuevo León.
- Nieto-Lopez, M. G., Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., 1999. Crude protein determination in wet acidic digestion samples prepared for chromic oxide assay. *Final report for research grant CII*-CT93-0300*. Commission of the European Community, reference paper # 8. 4pp.
- Maynard, L.A., Loosli, J.K., Hintz, H.F. y Warner, R.G., 1981. *Nutrición Animal*. 4a ed. Mc Graw Hill. U.S.A., 640pp.
- Obaldo, L. G., 2002. Feed texture potential quality control method. *The Global Aquaculture Advocate*, vol 5 (2), 58-59.
- Romero, J. J., Manrique, J. A. 1993. Esfuerzos desarrollados en Chile para disminuir el impacto ecológico en centros de cultivo de peces. *Seminario Internacional Acuicola Y Medio Ambiente*, 2-3 Septiembre 1993. Fundación Chile. 189pp.
- Tecator., 1987. Determination of Kjeldahl Nitrogen Content with Kjeltex System 1026. *Tecator application note AN 86/87(1987.02.18)*. Kjeltex 1026 Manual, Tecator, Sweden. 13pp.
- Tecator, 1983. Fat extraction on feeds with the Soxtec System HT – The influence of sample preparation and extraction media. *Tecator application note AN 67/83(1983.06.13)*. Soxtec System HT Manual, Tecator, Sweden. 3 pp.
- Teshima, S. & Kanazawa, A., 1983. Effects of several factors on growth and survival of the prawn larvae reared with microparticulate diets. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 49, 1893-1896.
- Velasco, M., Lawrence, Al L., Castille, F. L., Obaldo, L. G., 2000. Dietary protein requirement for *Litopenaeus vannamei*. *Avances en Nutrición Acuicola V. Memorias del Quinto Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*. 19-22 Noviembre, 2000. Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados – I.P.N. Mérida, Yucatán. Editores: L. Elizabeth Cruz Suárez, Miguel A. Olvera Novoa, Denis Ricque Marie, Mireya Tapia Salazar y Roberto Civera Cerecedo. 181-192
- Villalón, J. R., 1991. Practical Manual for Semi-intensive Commercial Production of Marine Shrimp. Texas A&M University Sea Grant College Program. TAMU-SG-91-501. College Station, Texas, USA.