

# Centro de Investigación en Alimentación Y Desarrollo, A. C.

ESTUDIO DE LA DIGESTIBILIDAD DE LA HARINA DE SOYA EN DIETAS  
PRACTICAS A DIFERENTES TEMPERATURAS Y SALINIDADES EN EL  
CAMARON BLANCO *Penaeus vannamei*, BOONE, 1931

POR

HECTOR CABANILLAS BELTRAN

---

TESIS APROBADA POR EL  
DEPARTAMENTO DE NUTRICION DE PECES Y CRUSTACEOS  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS ESPECIALIDAD C.I.A.D., A.C.  
EN NUTRICION Y ALIMENTOS

RECIBIDO  
09 DIC. 2008  
/2722  
BIBLIOTECA

MAZATLAN, SINALOA

DICIEMBRE DE 1996

Centro de Investigación en Alimentación y  
Desarrollo, A.C.

ESTUDIO DE LA DIGESTIBILIDAD DE LA HARINA DE SOYA EN DIETAS  
PRACTICAS A DIFERENTES TEMPERATURAS Y SALINIDADES EN EL  
CAMARON BLANCO, *Penaeus vannamei*, BOONE, 1931.

POR

HECTOR CABANILLAS BELTRAN

---

Tesis aprobada por el

DEPARTAMENTO DE NUTRICION DE PECES Y CRUSTACEOS

Como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS ESPECIALIDAD  
EN NUTRICION Y ALIMENTOS

MAZATLAN, SINALOA

DICIEMBRE DE 1996.

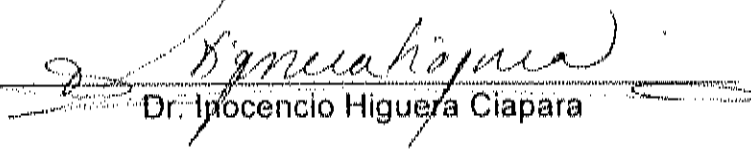
## APROBACION

Los miembros del comité designado para revisar la tesis de **Héctor Cabanillas Beltrán**, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias, en el área de Nutrición y Alimentos.



---

Dr. Carlos A. Martínez Palacios  
Director de Tesis



---

Dr. Inocencio Higuera Ciapara

---

Dr. Carlos Rosas Vázquez



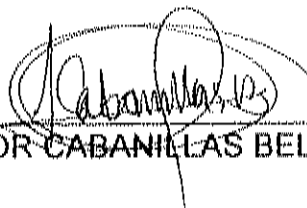
---

Dra. Cristina Chávez Sánchez

## DECLARACION DEL AUTOR

Se permiten citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se dé el crédito correspondiente. Se podrá solicitar permiso al Director del Centro o Jefe del Departamento de Nutrición de Peces y Crustáceos del CENTRO DE INVESTIGACION EN ALIMENTACION Y DESARROLLO, A.C. -Unidad Mazatlán- Apartado postal 711, Mazatlán, Sin. 82010, México, para citas o consultas más completas o para la reproducción íntegra del documento para fines académicos. En otras circunstancias, se deberá solicitar permiso del autor.

Firmado



---

HECTOR CABANILLAS BELTRAN

## DEDICATORIA

A mi esposa Irma, a quien doy todos los créditos de la continuidad y culminación de este proyecto.

A mi hija Claudia Michelle, ***Dominus dedit, dominus abstulit; sit nomen Domini benedictum***, que fue un gran impulso en la consecución de esta meta.

A mi hijo Marco César, que llegó en un momento clave y que, sin saberlo, hace magia.

A mis padres, Miguel y Evangelina, que quiero, respeto y admiro y de quienes siempre he sentido y tenido el apoyo incondicional.

A mis suegros, Fidel y Emma, quienes, a pesar de no creer en mí, me apoyaron en su manera muy particular.

A mis hermanos, Nereyda, Juan de Dios, Diana, Angélica, Juvenal, Francisco Miguel, Paz Esperanza, María Elena y Cosme, a quienes quiero mucho y comparto gustosamente con ellos el presente trabajo.

A mis compadres, Elizabeth y Ernesto, lo mismo que Rosa María y Oscar y sus respectivos hijos, por todo el apoyo y amistad que me han brindado.

## AGRADECIMIENTOS

AI CENTRO DE INVESTIGACION EN ALIMENTACION Y DESARROLLO, A.C. por haberme dado la oportunidad de convivir dentro de una comunidad que me permitió madurar como profesionista.

AI CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA, por apoyarme de manera importante en mi superación académica.

A la granja camaronícola "La Cruz del Naranjero", por su contribución bien intencionada en el desarrollo de trabajos científicos y tecnológicos.

De manera especial al Dr. Carlos A. Martínez Palacios, quien profesionalmente dirigió el trabajo de tesis que hoy culmino.

Con respeto y aprecio al Dr. Inocencio Higuera Ciapara, Dra. Cristina Chávez Sánchez y Dr. Carlos Rosas Vázquez, quienes formaron parte del comité de tesis y contribuyeron en la elaboración de este documento.

Especialmente al M.C. Jesús T. Ponce Palafox por brindarme su amistad y apoyarme desinteresadamente en todas las etapas del desarrollo de la tesis y al Dr. Ramón Pacheco Aguilar por sus atinadas observaciones a la misma.

A los M.C. Carlos Rojas, Ana Puello, Bruno Gomez-Gil, Isabel Abdo, Patricia Domínguez y Dr. Arturo Ruíz, así como a Concepción Lerma y Valerie Williams. De igual manera a los catedráticos del I.T.Tepic, M.C. Santiago Ramírez y M.C. Mario A. Ortiz, por su apoyo desinteresado.

## CONTENIDO

	Página
LISTA DE FIGURAS. ....	VIII
LISTA DE TABLAS. ....	IX
RESUMEN. ....	XI
INTRODUCCION. ....	1
ANTECEDENTES. ....	5
La camaronicultura en el mundo. ....	5
La camaronicultura en México... ..	6
Situación de la nutrición acuícola. ....	6
Importancia de las proteínas. ....	7
La soya como fuente alternativa. ....	8
Sistema digestivo. ....	12
Digestibilidad. ....	15
Factores que afectan el valor de digestibilidad. ....	15
Coeficiente de digestibilidad. ....	19
Métodos de colecta de heces para estudios de digestibilidad. ....	20
Sistema sifón. ....	23
Sistema Guelph (CYAQ-2) . ....	23
OBJETIVOS. ....	26
MATERIALES Y METODOS. ....	27
Animales experimentales. ....	27
Sistema experimental. ....	28
Parámetros ambientales. ....	31
Preparación de la dieta. ....	33

	Pág
CONTENIDO (continuación)	
Procedimiento experimental. . . . .	35
Primer experimento . . . . .	35
Segundo experimento. . . . .	39
Análisis químicos (proximal) . . . . .	39
Valor de digestibilidad aparente . . . . .	41
Determinación de óxido de cromo . . . . .	41
Aminogramas . . . . .	42
Diseño experimental y análisis estadístico. . . . .	44
RESULTADOS. . . . .	45
Sistema de colecta de heces. . . . .	45
Comparación entre los sistemas . . . . .	45
Aceptación de las dietas. . . . .	45
Parámetros ambientales. . . . .	47
Análisis proximal. . . . .	49
Estudio de digestibilidad. . . . .	49
Primer experimento. . . . .	49
Segundo experimento . . . . .	51
Digestibilidad de aminoácidos. . . . .	55
DISCUSION. . . . .	59
CONCLUSIONES. . . . .	65
REFERENCIAS. . . . .	67



## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1.- Sistema Guelph (CYAQ-2). Cho <i>et al.</i> , 1982. ....	24
2.- Sistema para colecta de heces por sifón (SS). ....	29
3.- Sistema Guelph modificado (SGM). ....	32
4.- Diagrama de flujo del primer experimento. ....	38
5.- Diagrama de flujo del segundo experimento. ....	40
6.- Curva estandar de óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). ....	43

## LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1.- Digestibilidad Aparente de Materia Seca y Proteína de Dietas Experimentales en <i>P. vannamei</i> . . . . .	9
2.- Digestibilidad Aparente de Aminoácidos por <i>P. vannamei</i> . . . . .	10
3.- Contenido de Aminoácidos Esenciales de Algunas Fuentes de Proteína Comúnmente Empleadas en Dietas Comerciales y Experimentales. . . . .	13
4.- Marcadores Empleados en Estudios de Digestibilidad. . . . .	22
5.- Dietas Experimentales. Composición y Análisis Proximal. . . . .	34
6.- Perfil de Aminoácidos de las Dietas Experimentales. . . . .	36
7.- Análisis Comparativo de los Sistemas de Colecta de Heces. . . . .	46
8.- Parámetros Ambientales Registrados en los dos Experimentos. . . . .	48
9.- Análisis Proximal en Heces de Camarón de cada uno de los Tratamientos en los dos Experimentos. . . . .	50
10.- Digestibilidad Aparente de Proteína, Materia Seca, Lípidos y Carbohidratos de Dietas Experimentales en <i>P. vannamei</i> , Determinada en dos Sistemas de Colecta de Heces (SS y SGM) y dos Salinidades (35 y 16‰) a 28°C. . . . .	52

## LISTA DE TABLAS (continuación)

Tabla	Pág
11.- Digestibilidad Aparente de Proteína, Materia Seca, Lípidos y Carbohidratos de Dietas Experimentales en <i>P. vannamei</i> , Determinada en SGM, a dos Salinidades (35 y 16‰) y a una Temperatura de 22°C. . . . .	54
12.- Digestibilidad Aparente de Proteína, Materia Seca, Lípidos y Carbohidratos de Dietas Experimentales en <i>P. vannamei</i> , Determinada a dos Temperaturas (28 y 22 °C), dos Salinidades (35 y 16‰) y un Sistema de Colecta de Heces (SGM). . . . .	56
13.- Digestibilidad Aparente de Aminoácidos de Dietas Experimentales (HP y HS) Bajo dos Diferentes Temperaturas (28 y 22 °C) en <i>P. vannamei</i> . . . . .	58

## RESUMEN

Se evaluaron dos dietas en las que se emplearon proteína de diferentes fuentes. Se elaboró una dieta conteniendo sólo proteína de origen animal (harina de pescado), HP y otra en la que se empleó proteína de origen vegetal (harina de soya), HS. Ambas dietas se prepararon para contener 40% de proteína. Las evaluaciones consistieron en la determinación de los coeficientes de digestibilidad aparente de proteínas (DAP), aminoácidos (DAA), lípidos (DAL), carbohidratos (DAC) y materia seca (DAMS) en el camarón blanco, *Penaeus vannamei*. Este estudio se llevó a cabo a dos temperaturas (28 y 22°C) y dos salinidades (35 y 16‰). Por otro lado, se llevaron a cabo modificaciones al sistema de colecta de heces conocido como Guelph (SG) y diseñado por Cho et al. (1982), el cual es utilizado para estudios de digestibilidad en peces. Estas modificaciones se realizaron con el objetivo de poderse emplear en camarones peneidos y su eficacia se evaluó tomando como referencia al sistema tradicional de colecta de heces conocido como sistema sifón (SS).

Los valores de DAP estuvieron en el rango de 73.4% a 76.2% para HP, mientras que para HS fue de 88.2% a 89.1%, siendo estas diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Un mismo comportamiento se observó en los valores de DAA, de 66.5% a 87.0% para HP y de 85.9% a 96.3% para HS. Las diferencias encontradas entre las DAA para cada uno de los aminoácidos fueron estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ). La arginina, la metionina y la lisina

fueron más eficientemente digeridas, mientras que la glicina y prolina fueron las más pobremente digeridas.

No se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en los valores de DAL. La DAC fue más alta ( $p < 0.05$ ) en la dieta HP, mientras que la DAMS tuvo valores más altos ( $p < 0.05$ ) en la dieta HS. Los valores de digestibilidad aparente no presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) por efecto de la temperatura o de la salinidad; excepto en la DAC, siendo más altos a 22°C.

En lo que se refiere a las modificaciones del sistema Guelph, se encontró que éstas fueron acertadas, pues no se detectaron diferencias en la calidad de heces colectadas a través del estudio. Sin embargo, el sistema Guelph modificado (SGM) presentó ventajas respecto al SS en cuanto a la funcionalidad y eficiencia de sus operaciones.

Se concluye que la harina de soya es una fuente alternativa de proteína muy importante en la alimentación artificial del *P. vannamei*, dado su perfil de aminoácidos y sus altos valores de digestibilidad aparente de proteínas y aminoácidos; además de su bajo precio y alta accesibilidad comercial.

Las salinidades de 35‰ y 16‰, así como las temperaturas de 28°C y 22°C no mostraron un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en la digestibilidad aparente de proteínas y aminoácidos en *P. vannamei*, indicando que el sistema digestivo de esta especie responde de manera similar en el rango evaluado de estos parámetros ambientales.

El SGM es un método de colecta de heces muy adecuado para estudios de digestibilidad en camarones peneidos. Su comparación con el sistema tradicional por sifoneo permitió establecer claras ventajas en su operabilidad y eficiencia.

## INTRODUCCION

La camaronicultura está considerada como la empresa productora de alimentos de más rápido crecimiento en el mundo.

En México, esta actividad ha tenido un gran impulso y actualmente se cuenta con importantes extensiones cultivadas de camarón peneido. El camarón *Penaeus vannamei* es la especie más importante para esta región del mundo y la tecnología para su cultivo básico es suficientemente conocida. En el estado de Sinaloa se encuentran ubicadas la mayor parte (150) de las granjas camaronícolas en operación y la superficie cultivada para este crustáceo va en incremento.

Sin embargo, para favorecer el crecimiento de la camaronicultura es necesario aumentar la productividad y reducir los costos de producción. En este último punto cabe señalar que, en sistemas de cultivo semiintensivo, las dietas representan alrededor del 50% de los costos operativos.

Las dietas para camarón están formuladas para contener niveles altos de proteína (30 a 57%) debido a los altos requerimientos de los organismos acuáticos (NRC, 1993). Por otro lado, la proteína es uno de los componentes más importantes de las dietas y el de más alto precio, así que una reducción en el contenido de este nutriente o el empleo de fuentes proteicas más baratas permitirá reducir considerablemente el precio de las dietas (Akiyama *et al.*, 1991). Además, el suministro de la fuente de proteína tradicional (harinas de pescado), particularmente de alta calidad usada en acuicultura, se espera que permanezca invariable a pesar de su creciente demanda y esta situación incrementará la búsqueda y el empleo de fuentes alternativas de proteína para

muchas aplicaciones acuícolas (Hardy, 1991).

La fuente más importante de proteína de origen vegetal es la harina de soya. En la actualidad, se utiliza especial y significativamente en la dieta de animales monogástricos, especialmente en pollos de los E.U. (Vohra y Kratzer, 1991).

En acuicultura, la harina de soya es, de todas las alternativas de proteína vegetal, la más extensamente evaluada y más comúnmente empleada en dietas comerciales (Akiyama, 1991a). Se ha confirmado que la proteína de soya posee uno de los mejores perfiles de aminoácidos de los ingredientes vegetales ricos en proteína y se presume que éstos satisfacen los requerimientos de aminoácidos esenciales de organismos acuáticos (Lovell, 1991a).

En estudios realizados por Akiyama (1991b) en camarones peneidos (*P. vannamei*, *P. monodon* y *P. japonicus*) se ha demostrado la alta digestibilidad de la harina de soya, especialmente sobre las proteínas y aminoácidos.

Sin embargo, el reducido número de estudios sobre los requerimientos nutricionales del camarón hacen difícil formular una dieta que cumpla con las necesidades del organismo y además que permita optimizar la cantidad de nutrientes en función de su precio. Un exceso de proteínas favorecerá, hasta cierto límite, el crecimiento y el desarrollo del camarón pero el costo de producción también será alto; en cambio, un nivel adecuado de proteína que sólo cubra el nivel requerido en una dieta balanceada dará el mismo resultado a un costo menor.

Si se incluye un exceso de proteína en la dieta, sólo una parte de ella será empleada en la síntesis de nuevas proteínas y el resto se convertirá en energía (Akiyama *et al.*, 1991). La producción de energía a partir de las proteínas representa un costo más alto que la producción a partir de

triglicéridos, los cuales son también efectivamente empleados como fuentes de energía por organismos acuáticos (Lovell, 1991a).

Se debe tener en cuenta que la inclusión de proteína en la dieta no sólo deberá satisfacer un nivel cuantitativo, sino también cualitativo; para ello es necesario evaluar el perfil de aminoácidos esenciales y su disponibilidad por el organismo.

Los estudios de digestibilidad son uno de los indicadores biológicos más precisos y empleados en la evaluación del nivel nutricional de los ingredientes o materiales alimenticios (Lim y Akiyama, 1991). Sin embargo, su determinación en organismos acuáticos no ha sido muy fácil, dado que las heces empleadas en el estudio experimentan cambios, especialmente la pérdida de muchos componentes nutricionales durante la lixiviación o lavado en el medio acuático. Por ello se han evaluado una serie de métodos de colecta de heces, tratando de encontrar el más adecuado y poder estandarizar esta metodología sin que hasta ahora se haya logrado.

Tradicionalmente se ha empleado el método de sifoneo, mediante el cual se hacen succionar, por medio de un pequeño sifón, las heces que se van depositando en el fondo del acuario. Este método es un mecanismo ineficiente para separar oportunamente las heces del medio y evitar al máximo su lixiviación y la actividad coprofágica de algunos organismos; además, éste método genera estrés en los organismos experimentales.

El método más aceptado en la actualidad es el que se realiza en el sistema Guelph (CYAQ-2) propuesto por Cho *et al.* (1982). No obstante que este sistema es eficiente para evaluar la digestibilidad en peces, no lo es para camarones peneidos, quienes pasan la mayor parte del tiempo sobre un substrato bentónico, lo cual los hace muy diferentes de los primeros; sobre todo si se considera el fondo inclinado que presentan los acuarios de este sistema.



En base a lo anterior, el presente trabajo estuvo enfocado a evaluar la harina de soya (utilizando como referencia la harina de pescado) en dietas prácticas para camarón blanco (*P. vannamei*), tomando como indicador el valor de digestibilidad aparente de cada uno de sus nutrientes (enfaticando la proteína y sus aminoácidos). También se manejaron diferentes condiciones de temperatura y salinidad para determinar el efecto de estos factores en la eficiencia digestiva del camarón, ya que se han encontrado que salinidades de 32‰ afectan negativamente la digestibilidad de la proteína de soya en *P. monodon* (Shiau *et al.*, 1992) y la temperatura modifica la actividad enzimática en los procesos digestivos (Tsai *et al.*, 1986) y afecta las velocidades de tránsito del alimento por el intestino (Hidalgo y Alliot, 1987).

Por otra parte, se evalúan las modificaciones realizadas para adaptar el sistema Guelph, como método de colecta de heces, para el estudio de digestibilidad en camarones peneídos. Este sistema modificado fue evaluado tomando como base de comparación al sistema tradicional (por sifón).

## ANTECEDENTES

El estudio y práctica de la acuicultura sostuvo un importante avance en la última década. En 1987 se estimó que la producción global proveniente de la acuicultura alcanzó aproximadamente el 12.3% de la cosecha total de peces y mariscos. Además, la International Aquaculture Foundation predijo una expansión continua en esta actividad con un crecimiento anual del 5.5% hasta el año 2,010 (Landau, 1992).

### La Camaronicultura en el Mundo.

Dentro de las actividades acuícolas la camaronicultura es una de las más exitosas y hoy en día se sitúa como la actividad productora de alimentos más importante y de más rápido crecimiento a nivel mundial (Lovell, 1991b).

Mientras la producción de especies acuáticas cultivadas se incrementó cerca del 100 % entre 1975 y 1986, de 6.1 a 12.1 millones de toneladas métricas (tm) respectivamente, la de crustáceos cultivados en el mundo se elevó de 16,000 a 399,000 tm en este mismo periodo. Los camarones peneidos fueron las especies que mayormente contribuyeron en este incremento (Kungvankij y Kongkeo, 1988).

En 1990 se registró una producción estimada de 630,000 toneladas, lo que representó más del 20% del camarón introducido en el mercado internacional. Tres especies principales, *P. chinensis*, *P. monodon* y *P. vannamei*, sumaron entre ellas más del 80% del camarón de granja (Lee y Wickins, 1992).

### La Camaronicultura en México.

En México, los volúmenes de captura del camarón (alrededor de 75,000 toneladas por año) y su alto valor económico en el mercado mundial son tan importantes que hacen de esta especie uno de los recursos pesqueros más valiosos (INEGI, 1995). El aumento en los niveles de producción de este crustáceo significa una importante generación de empleos y entrada de divisas a nuestro país. La mayor parte de esta producción es exportada y el potencial de incrementarla, mediante su cultivo, va en incremento.

El apoyo a la camaronicultura en nuestro país se refleja en la productividad de esta actividad. En 1989 se registró una producción de 2,846 toneladas, mientras que para 1994 los volúmenes se elevaron hasta las 15,509 toneladas de camarón de cultivo (INEGI, 1995).

En la actualidad, México cuenta con un registro de 284 granjas (la mayoría de ellas en el estado de Sinaloa) en una superficie aproximada de 17,400 hectáreas abiertas al cultivo, con un 71.7% de ellas en operación, 9.4% detenidas, 11.3% en proceso de construcción y 7.6% en proceso de ampliación (Rosenberry, 1994).

Sinaloa es el estado que más contribuye en la producción pesquera y acuícola de camarón. La producción camaronícola en el estado de Sinaloa para 1994 fue de 8,854 toneladas y en 1995 fue de 10,369 toneladas, lo que representa más del 50% de la producción acuícola nacional (SEMARNAP, 1995).

### Situación de la Nutrición Acuícola.

Actualmente, la formulación de dietas artificiales para la acuicultura se basa más en la cantidad de ingredientes que en los requerimientos nutricionales de los organismos (Akiyama, 1991c), lo que implica un mal uso de

los alimentos que afecta tanto a la especie que se cultiva como al medio ambiente y la economía de las empresas.

La futura expansión y mayor eficiencia de la producción acuícola requiere, entre otros aspectos, de mejoras continuas en la formulación nutricional. Sin embargo, para ser efectivo el desarrollo de alimentos se deben considerar, además del requerimiento nutricional de la especie en cuestión, la disponibilidad de ingredientes y su contenido nutricional así como la digestibilidad y costos de éstos (Latscha, 1991).

### **Importancia de las Proteínas.**

El alimento para camarón generalmente se formula con niveles altos en proteína (30 a 57%) y es precisamente este nutriente uno de los componentes principales y más caros de los alimentos (Akiyama *et al.*, 1991). Por lo que el estudio de los niveles nutricionales y evaluación de la digestibilidad de ingredientes como fuente alternativa de proteína, son básicos en la reducción de costos de producción. En sistemas semi-intensivos el costo del alimento representa alrededor del 50% del total de la producción.

Los estudios de digestibilidad junto con la disponibilidad de nutrientes, crecimiento, sobrevivencia, etc., son los indicadores biológicos que más se utilizan para evaluar el nivel nutricional de los ingredientes o materiales alimenticios (Lim y Akiyama, 1991).

La fuente proteica en el alimento comercial para camarón proviene de animales acuáticos con productos tales como harina de pescado, camarón y calamar. Estos materiales presentan un alto valor nutritivo pero son caros y su disponibilidad no es muy alta ( Lim y Persyn, 1989). En cambio, la harina de soya es un producto con mayor disponibilidad mundial a un costo más bajo y es

la proteína vegetal que más comúnmente se utiliza en alimentos para animales de corral (domésticos) y peces de aguas tropicales; aunque su utilización en camaronicultura es aún limitada (Lim y Dominy, 1990).

### **La Soya Como Fuente Alternativa.**

Existen algunos estudios que evalúan la harina de soya como sustituto parcial o total de harina de pescado, harina de calamar o su combinación en diferentes especies de camarón (Smith *et al.*, 1985; Penaflorida, 1989; Akiyama *et al.*, 1989; Lim y Dominy, 1990; Akiyama, 1991b; Ali, 1992; Shiau *et al.*, 1992). Muchos de los resultados expuestos son contradictorios dado que los estudios se realizaron bajo condiciones distintas de especies, tallas, calidad de ingredientes, temperaturas, salinidad, etc. No obstante, la mayoría de los trabajos coinciden en que la harina de soya posee un valor nutricional y de digestibilidad bastante satisfactorio como para incluirse en la elaboración de dietas comerciales.

En las tablas 1 y 2 se muestran los valores de digestibilidad aparente de diferentes dietas en función de proteína y aminoácidos respectivamente, en un trabajo que realizó Akiyama (1991b) en *P. vannamei*. En este estudio se encontró que, a partir de los ingredientes purificados, se obtienen valores de digestibilidad aparente de proteína y materia seca más altos que cuando se emplean las dietas prácticas. Para la proteína de soya purificada se obtuvo un 96.4% en el valor de digestibilidad aparente de proteína y, dentro de las dietas prácticas, la harina de soya fue el ingrediente que mostró una mayor digestibilidad de su proteína (89.9%), por encima de las harinas de pescado (80.7%), calamar (79.7%) y camarón (74.6%). En lo que se refiere a

Tabla 1. Digestibilidad Aparente de Materia Seca y Proteína de Dietas Experimentales en *P. vannamei*<sup>1</sup>.

Ingrediente principal en la dieta	Digestibilidad aparente de materia seca	Digestibilidad aparente de proteína
<b>Ingrediente Purificado</b>		
Caseína	91.4±0.1 <sup>a</sup>	99.1±0.1 <sup>a</sup>
Gluten de trigo	85.4±0.4 <sup>b</sup>	98.0±0.4 <sup>a</sup>
Proteína de soya	84.1±0.8 <sup>b</sup>	96.4±0.4 <sup>a</sup>
Gelatina	85.2±1.2 <sup>b</sup>	97.3±0.5 <sup>a</sup>
Almidón de maíz	68.3±1.6 <sup>c</sup>	81.1±1.1 <sup>b,c</sup>
<b>Ingredientes prácticos</b>		
Harina de calamar	68.9±1.0 <sup>c</sup>	79.7±1.7 <sup>c,d</sup>
Harina de pescado	64.3±1.4 <sup>d</sup>	80.7±1.7 <sup>c</sup>
Harina de camarón	56.8±2.0 <sup>e</sup>	74.6±1.6 <sup>e</sup>
Harina de soya	55.9±1.4 <sup>e</sup>	89.9±0.9 <sup>b</sup>
Salvado de arroz	40.0±1.5 <sup>f</sup>	76.4±0.8 <sup>d,e</sup>

<sup>1</sup>Los valores son medias de tres repeticiones (24 camarones/repelición) ± desviación estandar. a,b,c,d,e,f Medias en la misma columna con diferente superíndice difieren significativamente. (P<0.05). Fuente: Akiyama (1991c).

Tabla 2. Digestibilidad Aparente de Aminoácidos por *P. vannamei*.

Principal ingrediente	Aminoácidos esenciales								Aminoácidos no esenciales							
	ARG	LYS	LEU	ILE	THR	VAL	HIS	PHE	GLU	ASP	GLY	PRO	SER	TYR	ALA	
Caseína	99.2 <sup>a</sup> (0.2)	99.5 <sup>a</sup> (0.1)	99.4 <sup>a</sup> (0.1)	99.4 <sup>a</sup> (0.2)	99.4 <sup>a</sup> (0.1)	99.3 <sup>a</sup> (0.2)	99.3 <sup>a</sup> (0.2)	99.4 <sup>a</sup> (0.2)	99.5 <sup>a</sup> (0.1)	98.9 <sup>a</sup> (0.2)	98.4 <sup>a</sup> (0.1)	99.3 <sup>a</sup> (0.1)	99.2 <sup>a</sup> (0.1)	99.5 <sup>a</sup> (0.1)	97.9 <sup>a</sup> (0.1)	
Gluten de trigo	98.1 <sup>a</sup> (0.4)	96.7 <sup>a</sup> (0.6)	98.5 <sup>ab</sup> (0.4)	98.3 <sup>ab</sup> (0.5)	97.2 <sup>ab</sup> (0.2)	98.1 <sup>ab</sup> (0.4)	98.1 <sup>a</sup> (0.3)	98.7 <sup>ab</sup> (0.2)	99.1 <sup>a</sup> (0.2)	96.0 <sup>a</sup> (0.7)	97.3 <sup>ab</sup> (0.5)	99.1 <sup>a</sup> (0.3)	98.0 <sup>ab</sup> (0.2)	98.3 <sup>a</sup> (0.3)	94.1 <sup>a</sup> (2.1)	
Proteína de soya	97.5 <sup>a</sup> (0.7)	97.5 <sup>a</sup> (0.6)	96.7 <sup>ab</sup> (0.4)	96.5 <sup>bc</sup> (0.8)	95.3 <sup>b</sup> (0.7)	96.4 <sup>ab</sup> (0.7)	96.7 <sup>ab</sup> (0.5)	96.5 <sup>ab</sup> (0.6)	97.7 <sup>bc</sup> (0.4)	97.2 <sup>a</sup> (0.4)	95.8 <sup>b</sup> (0.4)	97.2 <sup>a</sup> (0.5)	96.4 <sup>b</sup> (0.5)	97.1 <sup>a</sup> (0.6)	94.4 <sup>b</sup> (0.5)	
Celastina	98.4 <sup>a</sup> (0.9)	96.9 <sup>a</sup> (0.7)	96.2 <sup>b</sup> (0.8)	95.8 <sup>c</sup> (1.0)	94.5 <sup>b</sup> (0.4)	96.1 <sup>b</sup> (0.7)	93.6 <sup>b</sup> (1.7)	96.3 <sup>b</sup> (0.9)	97.0 <sup>c</sup> (0.4)	95.9 <sup>ab</sup> (0.1)	98.1 <sup>ab</sup> (0.4)	98.4 <sup>a</sup> (0.3)	96.2 <sup>b</sup> (0.4)	92.2 <sup>b</sup> (3.4)	97.0 <sup>a</sup> (0.5)	
H. de soya	91.4 <sup>b</sup> (2.9)	91.5 <sup>b</sup> (2.2)	88.4 <sup>c</sup> (1.9)	90.2 <sup>d</sup> (2.0)	89.3 <sup>c</sup> (1.5)	87.9 <sup>c</sup> (2.4)	86.3 <sup>c</sup> (4.8)	89.6 <sup>c</sup> (1.8)	91.9 <sup>d</sup> (1.3)	92.2 <sup>b</sup> (1.3)	87.0 <sup>c</sup> (1.6)	89.1 <sup>b</sup> (1.4)	88.5 <sup>c</sup> (2.8)	91.1 <sup>b</sup> (1.6)	85.9 <sup>c</sup> (1.7)	
H. de pescado	81.0 <sup>d</sup> (1.3)	83.1 <sup>cd</sup> (2.6)	80.7 <sup>d</sup> (2.8)	80.4 <sup>e</sup> (1.8)	80.6 <sup>de</sup> (2.7)	79.4 <sup>d</sup> (1.4)	79.0 <sup>e</sup> (0.8)	79.1 <sup>d</sup> (0.8)	82.4 <sup>e</sup> (1.0)	80.5 <sup>cd</sup> (2.2)	82.2 <sup>d</sup> (0.9)	84.1 <sup>c</sup> (0.7)	81.6 <sup>d</sup> (1.6)	78.4 <sup>c</sup> (1.1)	81.4 <sup>d</sup> (0.9)	
H. de camarón	81.8 <sup>d</sup> (2.9)	85.7 <sup>c</sup> (2.8)	82.1 <sup>d</sup> (2.7)	81.6 <sup>e</sup> (2.9)	83.7 <sup>d</sup> (3.8)	79.5 <sup>de</sup> (3.2)	75.4 <sup>f</sup> (3.1)	75.6 <sup>e</sup> (3.1)	82.0 <sup>e</sup> (1.5)	78.5 <sup>de</sup> (4.2)	80.3 <sup>d</sup> (3.7)	78.8 <sup>d</sup> (3.4)	78.0 <sup>e</sup> (2.9)	76.7 <sup>c</sup> (3.1)	55.4 <sup>g</sup> (0.8)	
H. de calamar	79.4 <sup>d</sup> (0.6)	78.6 <sup>e</sup> (1.1)	79.4 <sup>d</sup> (1.4)	77.2 <sup>f</sup> (1.6)	79.7 <sup>e</sup> (1.9)	79.3 <sup>d</sup> (2.6)	73.6 <sup>f</sup> (0.9)	74.1 <sup>e</sup> (0.9)	82.2 <sup>e</sup> (1.0)	83.2 <sup>c</sup> (4.5)	80.4 <sup>d</sup> (0.7)	78.5 <sup>d</sup> (0.5)	77.2 <sup>e</sup> (1.4)	73.5 <sup>d</sup> (0.1)	77.0 <sup>e</sup> (1.3)	
Salvado de arroz	85.1 <sup>c</sup> (2.2)	81.0 <sup>de</sup> (5.2)	74.9 <sup>e</sup> (3.5)	73.4 <sup>g</sup> (1.3)	73.2 <sup>f</sup> (4.1)	75.9 <sup>e</sup> (3.6)	82.6 <sup>d</sup> (2.5)	74.9 <sup>e</sup> (3.8)	79.5 <sup>f</sup> (2.0)	75.5 <sup>e</sup> (2.9)	75.9 <sup>e</sup> (2.5)	68.7 <sup>e</sup> (6.5)	72.7 <sup>f</sup> (3.0)	75.6 <sup>cd</sup> (1.5)	71.0 <sup>f</sup> (2.0)	

Los valores son promedio de tres repeticiones (24 camarones/rep.) +/- desviación std. en ( ).

a,b,c,d,e,f,g

Medias en la misma columna con diferente superíndice difieren (p<0.05). Fuente: Akiyama (1991b).

aminoácidos, se observó que aquellos que se encuentran en la harina de soya presentan una mayor digestibilidad aparente por el camarón.

La harina de soya se está empleando exitosamente para reemplazar a la harina de pescado y de camarón en dietas de crustáceos. La sustitución de estas harinas en un 50% por harina de soya propició tasas de crecimiento y de conversión alimenticia más altas en *P. californiensis* (Colvin y Brand, 1977), *P. duorarum* (Sick y Andrews, 1973), *P. setiferus* y *P. stylirostris* (Fenucci *et al.*, 1980). En estas últimas el reemplazo del 50% fue por harina de calamar.

La harina de soya, por su origen vegetal, se sabe que contiene factores antinutricionales termolábiles que provocan efectos negativos en el crecimiento y desarrollo de los organismos que la consumen. Los inhibidores de tripsina y las lectinas son los principales elementos que afectan el potencial de absorción del sistema digestivo (Pustai, 1985). Sin embargo, se sabe que las lectinas contenidas en la soya son de las más lábiles, inactivándose rápidamente por la acción de la pepsina (Liener, 1976).

Por fortuna, el tratamiento térmico (105°C por 10 a 20 min.) que recibe la soya en el proceso de extracción de aceite comercial, destruye la mayor parte de las sustancias antinutricionales que contiene (Lovell, 1991a). Además, este mismo tratamiento incrementa el nivel de digestibilidad de sus proteínas.

La soya es una de las alternativas más viables como sustituto de harinas de origen animal en función de su proteína y valor económico. La proteína presente en la soya posee un adecuado perfil de aminoácidos, poco común en los ingredientes vegetales ricos en proteína, aunque no es comparable con las proteínas animales. También se sabe que la soya, como componente de las dietas, tiene una alta aceptación por muchas especies acuáticas (Lovell, 1991a); aunque normalmente se hace uso de saborizantes o atrayentes (como la harina de calamar) en la elaboración de dietas, para aumentar la aceptación de éstas por los animales.



En la tabla 3 se muestra el contenido de aminoácidos esenciales de algunas fuentes de proteínas comúnmente empleadas en dietas experimentales y comerciales de organismos acuáticos y en ella se puede observar la buena proporción que guardan los aminoácidos de la proteína de la harina de soya; si se toma como referencia a la caseína y a la harina de pescado.

Es importante señalar que la utilización de los nutrientes no depende únicamente de la calidad y cantidad de éstos o de su balance, sino que también el sistema digestivo de los organismos consumidores desempeña un papel relevante en este proceso.

Dentro de los factores que se involucran en el proceso de digestión se puede señalar el grado de secreción del jugo gástrico, el carácter de las enzimas digestivas, movilidad gástrica y la capacidad del intestino de aceptar quimo del estómago. Estos factores son característicos de cada organismo por lo que la utilización de un mismo alimento varía entre ellos.

### Sistema Digestivo.

El tracto digestivo en crustáceos se divide en tres regiones: el intestino anterior (de origen ectodermal) el cual está subdividido en esófago y estómago, este último con dos cámaras (cardiaca y pilórica); el intestino medio de origen endodermal con sus derivados diverticulares; y el intestino posterior, que es también embriológicamente derivado del ectodermo (Gibson, 1982).

Como regla general, los crustáceos decápodos son carnívoros-omnívoros. Pueden alimentarse de presas vivas o de animales muertos, si bien en muchos casos alternan ambos alimentos en su dieta. La boca está en

Tabla 3. Contenido de Aminoácidos Esenciales de algunas Fuentes de Proteína Comúnmente Empleadas en Dietas Comerciales y Experimentales.

Dieta Intl.#	Contenido de Aminoácido (% de Proteína) en:							
	Caseína 5-01-162	Gelatina 5-14-503	Harina pescado 5-02-009	Harina soya 5-04-612	H. de ca cahuate 5-03-650	H. de algodón 5-01-621	H. de rapesee 5-03-871	H. de girasol 5-04-871
Arginina	4.2	8.0	6.1	7.4	9.5	10.2	5.6	9.6
Histidina	3.1	0.9	2.4	2.5	2.0	2.7	2.7	2.7
Isoleucina	6.8	1.6	4.7	5.0	3.7	3.7	3.7	4.9
Leucina	10.5	3.3	7.3	7.5	5.6	5.7	6.8	8.3
Lisina	8.5	4.1	7.7	6.4	3.7	4.1	5.4	4.2
Metionina	3.3	0.8	2.9	1.4	0.9	1.4	1.9	2.5
(+cistina)	3.7	1.0	3.8	3.1	2.4	3.3	2.7	4.1
Fenilalanina	5.7	2.0	4.0	4.9	4.2	5.9	3.8	5.1
(+tirosina)	11.6	2.6	7.2	8.3	7.4	7.9	6.0	8.1
Treonina	4.7	2.0	4.1	3.9	2.4	3.4	4.2	4.2
Triptofano	1.3	0.1	1.1	1.4	1.0	1.4	1.2	1.3
Valina	8.0	2.4	5.3	5.1	3.9	4.6	4.8	5.6

Fuente: NRC (1983).

posición ventral, acompañada de mandíbulas (apéndices masticadores). Un esófago corto lleva el alimento al estómago, que está dividido en dos porciones o cámaras separadas por un estrechamiento. En la primera cámara (estómago gástrico) el alimento es triturado gracias a un sistema llamado "molino gástrico". En la segunda cámara (estómago pilórico) ocurre la digestión del alimento, ya que en él desembocan las secreciones del hepatopáncreas. El esófago, el estómago gástrico y la mitad del estómago pilórico están cubiertos por quitina que se elimina en cada ecdisis (Coll, 1991).

El alimento se tritura en la boca y pasa al estómago gástrico. Las paredes del estómago gástrico son musculosas y forradas interiormente de quitina, además de poseer tres dientes opuestos uno contra otro (molino gástrico). Aquí el alimento es triturado y mezclado a pH de 7 a 8 con las enzimas digestivas procedentes de las secreciones de las paredes del estómago, lo que le da una fina consistencia. El alimento pasa después al estómago pilórico que está formado por paredes plegadas constituyendo un verdadero filtro o criba que conduce el alimento a las secreciones del hepatopáncreas. Sólo las partículas finas pasan la criba para ser digeridas; las partículas mayores vuelven al estómago gástrico. Las paredes del estómago pilórico son musculosas para ayudar a pasar el alimento por entre los filtros. El hepatopáncreas segrega enzimas que digieren carbohidratos (amilasas, celulasas, quitinasas), lípidos (lipasas) y proteínas [endopeptidasas y exopeptidasas con un amplio rango de especificidades que aseguran un proceso digestivo eficiente (Carrillo, 1994)]. El alimento pasa al intestino en cuya primera parte es, probablemente, absorbido y el alimento no digerido es eliminado en las heces. Las bacterias y los protozoos que viven en el tubo digestivo contribuyen a la digestión del alimento, sobre todo cuando éstos contienen celulosa y quitina (Coll, 1991).

### Digestibilidad.

El valor nutricional de un alimento no se basa únicamente en su composición química sino, más bien, en la cantidad de nutrientes o energía que un organismo pueda absorber o utilizar. La biodisponibilidad de nutrientes o energía en los alimentos para organismos acuáticos puede definirse principalmente en términos de digestibilidad. La digestibilidad nos indica la fracción del nutriente en el alimento ingerido que no es excretado en las heces (National Research Council, 1993).

La evaluación de la digestibilidad de una determinada fuente proteica es uno de los primeros datos necesarios para evaluar sus posibilidades como componentes de una dieta. Una fuente proteica puede tener un alto contenido en proteína y un buen patrón de aminoácidos esenciales pero si su digestibilidad es baja, la cantidad de cada uno de los aminoácidos que son absorbidos pueden no cubrir, en su conjunto, los requerimientos para un adecuado crecimiento y por lo tanto, es necesario reformular la dieta o investigar el efecto de tratamientos previos que mejoren su utilización digestiva (Higuera, 1985). Esto ocurre, por ejemplo, con fuentes proteicas vegetales como las leguminosas donde el tratamiento térmico de la soya aumenta siete veces la ganancia de peso en la trucha arcoiris (Ketola, 1982) y la carpa, debido a que se eliminan los antinutrientes termolábiles y se inicia el rompimiento de las cadenas de almidones (Viola *et al.*, 1983).

### **Factores que Afectan el Valor de Digestibilidad.**

La digestión del alimento depende de tres factores principales: a) tipo de alimento que se ingiere y grado de susceptibilidad a las enzimas digestivas;

b) actividad de las enzimas digestivas y c) tiempo que el alimento está expuesto a dichas enzimas. Cada uno de éstos es influido por una multitud de factores secundarios, algunos de los cuales se relacionan con el organismo, como especie, edad, tamaño, longitud del intestino y estado fisiológico; otros están asociados con las condiciones ambientales, como temperatura y salinidad del agua; y otros más se relacionan con el alimento, como composición, tamaño de partícula, cantidad ingerida y cantidad de fibra cruda (Hepher, 1993).

Aunque son pocos los trabajos que se reportan a la fecha sobre los distintos factores que modifican la digestibilidad de los alimentos en los camarones peneidos, se establece que existen diferencias importantes en la digestibilidad aparente de carbohidratos (quitina) entre especies distintas, *P. vannamei*, *P. setiferus* y *P. duorarum* (Clark *et al.*, 1993). En cambio, al comparar *P. vannamei* con *P. monodon* y *P. japonicus*, no se registraron diferencias significativas en los valores de digestibilidad de la harina de soya por efecto de las diferentes especies (Akiyama, 1991b).

En general, se cree que los diferentes valores de digestibilidad que se reportan en las distintas especies de organismos acuáticos se da por efecto del régimen alimentario (carnívoro y/o herbívoro) y el tipo de proteínas que se emplean en las evaluaciones (Chen, 1993). Se sabe que la actividad proteolítica promedio en herbívoros y omnívoros es baja en relación a los carnívoros, pero los no carnívoros pueden, dada una mayor longitud de su intestino y un volumen y número mayor de llenado de éste por día, alcanzar una duración proteolítica (exposición efectiva del alimento a las enzimas) mayor que la que se observa en carnívoros (Ash, 1988).

Los nutrientes y la calidad del alimento balanceado juegan un papel importante en la digestibilidad de los alimentos. El nivel de proteína posee un efecto determinante en el valor de digestibilidad, de tal manera que cuando se somete un organismo a niveles bajos de proteína, la actividad proteásica es

baja. Conforme se aumenta el nivel proteico en la dieta la actividad enzimática aumenta hasta alcanzar un nivel máximo, después del cual tiende a disminuir (Ceccaldi, 1987). Le Moullac *et al.* (1994) detectaron cambios en las enzimas digestivas por efecto de diferentes niveles y calidad de proteína y carbohidratos en larvas de *P. vannamei*, lo que sugiere una inducción específica de este sistema enzimático dada la calidad del alimento.

En diversos estudios (Akiyama *et al.*, 1989; Law *et al.*, 1990; Akiyama, 1991a; Akiyama, 1991b; Lovell, 1991a; Ali, 1992) se demuestra la alta digestibilidad de la proteína de origen vegetal que se equipara a la de harina de pescado, motivo por el cual la harina de soya se emplea como un ingrediente de importancia en la elaboración de dietas para la acuicultura. Sin embargo, cuando se emplea la harina de soya el índice de digestibilidad aparente de materia seca (DAMS) (Akiyama *et al.*, 1989; Akiyama, 1991b) disminuye cuando éste se compara con el valor que arroja el uso de harina de origen animal. Esto se atribuye, básicamente, a que la soya contiene una concentración considerablemente mayor de carbohidratos y estos nutrientes presentan una menor digestibilidad que las proteínas (Catacutan, 1991; Davis y Arnold, 1993; Shen y Liu, 1993; Sarac *et al.*, 1993); aunque este efecto es también dependiente de la calidad de los carbohidratos (Martínez-Palacios, 1988; Davis y Arnold, 1993).

Akiyama (1991b) realizó un estudio en el que evaluó la digestibilidad de la harina de soya (incorporada en un 94% en la dieta experimental) en tres especies de camarón, *P. japonicus*, *P. monodon* y *P. vannamei*, donde las digestibilidades aparentes de materia seca, proteínas, lípidos y carbohidratos se mantuvieron en el rango de 61.2% a 63.6%, 90.1% a 91.6%, 70.4% a 75.5% y 63.4% a 75.8% respectivamente. Estos datos establecen que la proteína de soya es eficientemente digerida por estas especies de camarón.

En lo que se refiere a lípidos, se ha encontrado (Leger, 1988) que su digestibilidad aparente depende del grado de insaturación y que se incrementa con la temperatura del agua. Teshima y Kanazawa (1983) encontraron que en *P. japonicus* la digestibilidad de la tripalmitina se ve favorecida con niveles altos de lecitina de huevo; además, la coexistencia de lípidos tales como el ácido palmítico, tripalmitina y lecitina de huevo mejoran marcadamente la efectiva y rápida asimilación de colesterol dietario. En otro estudio, Jones *et al.* (1992) demostraron que la incorporación de emulsificadores, tales como la lecitina, aumentan considerablemente la digestibilidad de los nutrientes.

Las fluctuaciones de temperatura y salinidad, en sistemas de cultivo no intensivo, son muy comunes. Por ello, es preciso conocer la manera en que estos parámetros modifican la digestibilidad de los nutrientes en los camarones. Sólo así podrán adoptarse estrategias adecuadas de alimentación.

La temperatura presenta diversos efectos sobre el proceso digestivo de los alimentos: modifica la actividad enzimática del sistema digestivo (Tsai *et al.*, 1986) y actúa sobre la duración del tránsito intestinal. A bajas temperaturas, el contacto del bolo alimenticio con las enzimas digestivas es prolongado y compensar la menor producción de enzimas o el efecto de las bajas temperaturas sobre la actividad de éstas (Hidalgo y Alliot, 1987). En el caso de *P. orientalis* (Shen y Liu, 1993) se encontró que la temperatura óptima para la digestibilidad de las proteínas es de 30°C.

La salinidad, al igual que la temperatura, es objeto de diferentes estudios en organismos acuáticos en los que, básicamente, se evalúan respuestas de crecimiento y sobrevivencia. Sin embargo, la publicación de trabajos que permitan definir la forma en que estos parámetros alteran el sistema digestivo o la digestibilidad de los alimentos son muy escasos. Shiau *et al.* (1992) evaluaron la digestibilidad de diferentes fuentes de proteínas en *P. monodon* sometido a dos distintas salinidades (16‰ y 32‰) y encontraron

que la salinidad no presentó ningún efecto en la digestibilidad de la caseína y harina de pescado, en cambio el valor de digestibilidad sí se alteró cuando se evaluó la harina de soya, obteniendo menor digestibilidad a 32 %.

Se reporta (Boyd, 1989) que el *P. vannamei* se cultiva en un rango amplio de salinidades y el intervalo de 15‰ a 25‰ se considera ideal para esta especie, aunque también puede cultivarse adecuadamente a salinidades más bajas y más altas. Ponce-Palafox *et al.* (en prensa) reportan un intervalo óptimo para el cultivo de esta especie de 33‰ a 40‰ y una temperatura de 25°C a 35°C para su crecimiento y producción.

Para evaluar el efecto de los diferentes factores en estudios de digestibilidad de organismos acuáticos, se realizan determinaciones con la aplicación de métodos indirectos, evitando así la necesidad de coleccionar totalmente la excreta de los organismos. Además, la digestibilidad no resulta ser la real, sino más bien un valor de digestibilidad aparente, pues no se toma en cuenta las proteínas u otros nutrientes presentes en la cavidad intestinal que son arrastrados por las heces; aunque su porcentaje es muy bajo. Sin embargo, es un valor que por fines prácticos es bien aceptado y de gran confiabilidad.

### **Coefficiente de Digestibilidad.**

Durante el paso del alimento por el tubo digestivo no todo se digiere y absorbe. La porción que no se digiere se excreta como heces. La porción que se absorbe se determina por diferencia entre los nutrimentos ingeridos y excretados, y suele expresarse como un porcentaje de la cantidad ingerida; esto es, como "coeficiente de digestibilidad aparente (CDA)":



$$\text{CDA} = \frac{\text{nutrimentos ingeridos} - \text{nutrimentos excretados}}{\text{nutrimentos ingeridos}} \times 100$$

Es posible determinar el coeficiente de digestibilidad para la materia alimenticia seca, pero dado que la digestibilidad es distinta para proteínas, carbohidratos y lípidos, suele determinarse por separado.

#### Métodos de Colecta de Heces para Estudios de Digestibilidad.

En ambientes acuáticos, es difícil cuantificar los nutrientes que ingieren y excretan los organismos; además, la colecta de heces no es muy fácil, por lo que hacen complicados los estudios de digestibilidad. Este problema originó el desarrollo de una serie de técnicas para la colecta de excretas combinadas con métodos, directos o indirectos, del cálculo de la digestibilidad. Nose (1960) inició la colecta de excretas en peces por presión abdominal, Windell *et al.* (1978) colectaron las muestras del contenido rectal por succión a nivel del ano o por disección de los peces. Las heces que se obtuvieron por estos métodos produjeron tensión en los animales; además de una evacuación forzada que provocó una excesiva excreción de enzimas digestivas, fluidos corporales y contaminación de las muestras con epitelio intestinal que alteraron los índices de utilización digestiva (Higuera, 1985).

Existe también el método del "marcador inerte", el cual se basa en el empleo de una sustancia indigerible que permite evaluar las cantidades de nutrientes que se incorporan y excretan por el organismo experimental. Una de las características más importantes que se requieren para este tipo de sustancias es que, además de ser indigeribles, viajen a la misma velocidad por el intestino que los nutrientes a ser evaluados. Dentro de estas sustancias

existen dos categorías: a) los que se presentan de manera inherente en el alimento (internos) y b) los que se agregan al mismo (externos). En la tabla 4 se enlistan diferentes tipos de materiales que se emplean como "marcadores" en estudios de digestibilidad; entre éstos se encuentra el óxido de cromo, que es uno de los mayormente empleados y es considerado por Akiyama *et al.* (1989) como el "marcador" más apropiado en estudios de digestibilidad para camarones peneidos.

Con la ayuda de estas técnicas, las concentraciones de nutrimento e indicador se determinan tanto en el alimento como en las heces y se calcula el coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) del nutrimento por medio de la fórmula:

$$\text{CDA}(\%) = 100 - \frac{\% \text{ del indicador en el alimento}}{\% \text{ de indicador en las heces}} \times \frac{\% \text{ de nutrimento en las heces}}{\% \text{ de nutrimento en el alimento}} \times 100$$

La ventaja de este método es que no es necesario determinar la cantidad de alimento ingerida ni la cantidad de heces excretadas; basta con analizar una muestra de ambos y determinar el contenido porcentual de nutrimento e indicador (Hepher, 1993). Sin embargo, tampoco este método está libre de problemas, pues no se garantiza la no dispersión de alimento y heces en el agua. Para reducir estos efectos tendrían que manejarse alimentos con una alta estabilidad en el medio y las heces deberán de colectarse en un lapso de tiempo lo más corto posible después de su evacuación.

Tabla 4. Marcadores Empleados en Estudios de Digestibilidad.

<u>MARCADORES INTERNOS</u>	<u>REFERENCIA</u>
Fibra	Tacon and Rodrigues (1984)
Ceniza	Leavitt (1985)
Cromógenos	Lovell (1989)
Lípidos	Leavitt (1985)
<u>MARCADORES EXTERNOS</u>	
Radioactivos	
<sup>32</sup> P	Hirao et al. (1960)
NaH <sup>14</sup> CO <sub>3</sub>	Moriarty y Moriarty (1973)
Metales	
Oxido de titanio	Smith (1989)
Polvo de hierro	Talbot and Higgins (1983)
Vanadio	Leavitt (1985)
Materia orgánica resistente a la hidrólisis	Buddington (1980)
Ceniza ácido-resistente	De silva y Perera (1983)
Oxido de cromo	Mainard y Loosli (1962)

### **Sistema de Sifón.**

Este es el método de colecta de heces en organismos acuáticos que tradicionalmente se emplea. Se alimenta a los animales experimentales en un tiempo corto para después realizar la colecta de heces manualmente por medio de sifón (formado por un tubo de vidrio y una manguera de plástico). La colecta se realiza procurando que antes de su inicio no existan residuos de alimento no ingeridos que pudieran alterar la muestra.

El principal problema que se presenta en este método es precisamente en asegurar la ausencia de residuos de alimentos en el material sifonado. El grado de lixiviación del material fecal (que dependerá del tiempo de su colecta), el estrés a que se someten los organismos y el tiempo que se invierte en su proceso, son otras situaciones que se presentan en este método que deben considerarse para mejorar su funcionalidad.

### **Sistema Guelph (CYAQ-2).**

El "sistema Guelph (CYAQ-2)" desarrollado por Cho *et al.* (1982) permite coleccionar el material fecal en una columna de sedimentación como se muestra en la figura 1. Existen tres tanques en cada unidad, los cuales comparten un drenaje común y una columna de sedimentación (10 cm de diámetro X 40 cm de altura). Cada tanque mide 55X40X35 cm y presenta un fondo inclinado. La velocidad de flujo de agua se ajusta para minimizar la precipitación de las heces en el drenaje y aumentar su recuperación en la columna de sedimentación, mientras se mantienen los niveles apropiados de oxígeno disuelto y amonio en el agua.

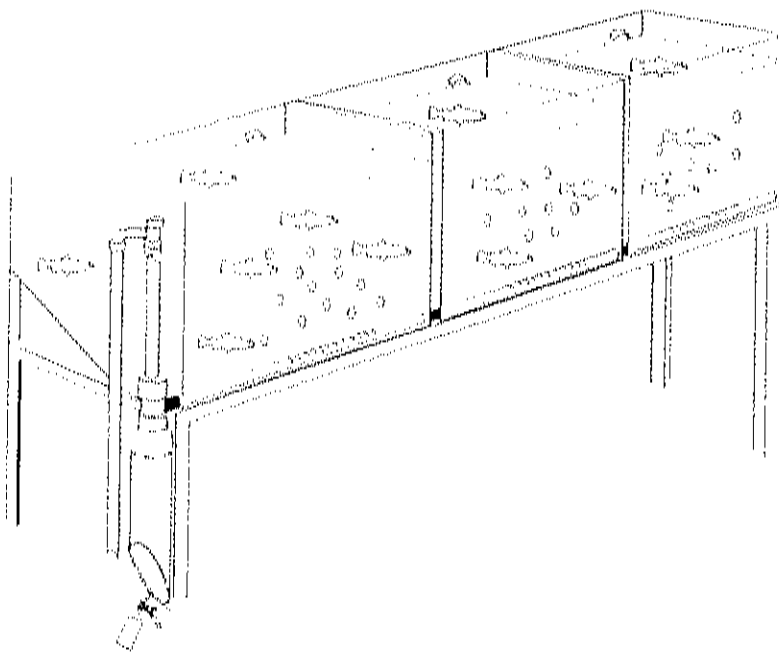


Figura 1. Sistema Guelph (CYAQ-2). Cho et al. (1982).

Las ventajas del "sistema Guelph" son: 1) permite que los peces se alimenten normalmente, 2) no hay necesidad de manejarlos, 3) se pueden realizar determinaciones repetidas y 4) pueden llevarse a cabo evaluaciones de diferentes dietas al mismo tiempo. Una crítica de este método es que el material soluble de las heces se pierde por el proceso de lixiviación. Sin embargo, la estrecha concordancia entre las digestibilidades de materia seca, proteína cruda y lípidos que se obtuvieron mediante disección intestinal y colecta de contenido rectal por succión con los resultados obtenidos usando la columna de sedimentación indican que la lixiviación no es una fuente importante de error (Cho *et al.*, 1985).

El "sistema Guelph" es uno de los métodos de colecta de heces que tiene mayor aceptación. Aunque cabe señalar que éste se ha aplicado en peces y no en camarones peneidos, quienes pasan la mayor parte del tiempo sobre un sustrato, lo que los hace muy diferentes de los primeros, si se considera el fondo inclinado que presentan los acuarios de este sistema.

## OBJETIVOS

Evaluar la harina de soya como fuente alternativa de proteína en dietas prácticas para camarón blanco, *Penaeus vannamei*, a diferentes temperaturas y salinidades, en función de los coeficientes de digestibilidad aparente de proteína y aminoácidos.

Determinar el efecto de la temperatura y la salinidad sobre la digestibilidad de nutrientes en camarón blanco, *P. vannamei*.

Modificar el sistema Guelph para adaptar su uso en camarones peneidos y compararlo con el método tradicional para colecta de heces por sifón.

## MATERIALES Y METODOS

### Animales Experimentales

Para el presente experimento se empleó camarón blanco (*Penaeus vannamei*), con un intervalo de peso de 8 a 12 g., proveniente de la granja camaronícola "La Cruz del Naranjero" localizada en el municipio de El Rosario, Sinaloa.

Los camarones se trasladaron a las instalaciones del CIAD Unidad-Mazatlán, en bolsas de plástico refrigeradas a 20°C (en hieleras comerciales), en una atmósfera saturada de oxígeno. Posteriormente se confinaron en tres tanques de 1,600 lts cada uno, alimentándose *ad libitum* tres veces al día; la temperatura del agua en los tanques fluctuó de 25 a 28°C, la salinidad se mantuvo a 35‰ y el pH fue de 8.4. Después de una semana se tomaron al azar 120 camarones (de un total de 200) y se colocaron en dos sistemas. Cada sistema está formado por 12 acuarios y en cada acuario se asignaron aleatoriamente 5 camarones. El peso promedio de los animales experimentales fue de  $10.2 \pm 1.4$  g. El agua que se utilizó en el estudio, de origen marino, fue pasada por filtros de: arena, cartucho de 10 micras, carbón activado y luz ultravioleta.



### Sistema Experimental

Se emplearon dos sistemas para la colecta de heces:

Se utilizó un sistema de acuarios de material plástico con las siguientes medidas: 47.5X32X19.5 cm en el que se manejó un volumen de 25 litros en cada una de ellas. Estos acuarios se cubrieron con una malla para evitar que el camarón saliera de éstos. Para las operaciones de alimentación, lavado de los acuarios y colecta de heces, la malla se levantó en uno de sus extremos para facilitar las maniobras.

La limpieza de los acuarios se llevó a cabo con la ayuda de una manguera plástica de media pulgada, con la cual se aspiró el fondo de ellos; además, se realizaron recambios diarios de agua del 70%. Las heces se colectaron manualmente por sifón, formado por un tubo de vidrio y una manguera de plástico. En la parte baja de la figura 2 se presentan los acuarios (cajas plásticas) de este sistema.

Se construyeron dos módulos basados en el modelo de sistema de colecta de heces propuesto por Cho *et al.* (1982) conocido como "Guelph (CYAQ-2)". Cada uno de ellos consiste de un sistema interconectado con recirculación de agua, formado por seis acuarios de vidrio con un fondo de 32° de inclinación y con un volumen de 45 lts por acuario; cada uno de los acuarios presentó un dispositivo individual de colecta de heces. El agua se introdujo a través de una tubería de PVC de 1.27 cm de diámetro, provista de orificios de 0.2 cm, situada en la superficie de la parte alta del fondo inclinado, con los orificios de salida de agua orientados en dirección de este fondo para facilitar el barrido de los materiales que pudieran quedarse en él.

En la parte más baja del fondo se colocó un tubo de PVC de 1.27 cm de diámetro, el cual fue cortado longitudinalmente en una sección, de tal manera que sirviera de canal o guía en donde las heces o alimentos se depositaron.

### Sistema Experimental

Se emplearon dos sistemas para la colecta de heces:

Se utilizó un sistema de acuarios de material plástico con las siguientes medidas: 47.5X32X19.5 cm en el que se manejó un volumen de 25 litros en cada una de ellas. Estos acuarios se cubrieron con una malla para evitar que el camarón saliera de éstos. Para las operaciones de alimentación, lavado de los acuarios y colecta de heces, la malla se levantó en uno de sus extremos para facilitar las maniobras.

La limpieza de los acuarios se llevó a cabo con la ayuda de una manguera plástica de media pulgada, con la cual se aspiró el fondo de ellos; además, se realizaron recambios diarios de agua del 70%. Las heces se colectaron manualmente por sifón, formado por un tubo de vidrio y una manguera de plástico. En la parte baja de la figura 2 se presentan los acuarios (cajas plásticas) de este sistema.

Se construyeron dos módulos basados en el modelo de sistema de colecta de heces propuesto por Cho *et al.* (1982) conocido como "Guelph (CYAQ-2)". Cada uno de ellos consiste de un sistema interconectado con recirculación de agua, formado por seis acuarios de vidrio con un fondo de 32° de inclinación y con un volumen de 45 lts por acuario; cada uno de los acuarios presentó un dispositivo individual de colecta de heces. El agua se introdujo a través de una tubería de PVC de 1.27 cm de diámetro, provista de orificios de 0.2 cm, situada en la superficie de la parte alta del fondo inclinado, con los orificios de salida de agua orientados en dirección de este fondo para facilitar el barrido de los materiales que pudieran quedarse en él.

En la parte más baja del fondo se colocó un tubo de PVC de 1.27 cm de diámetro, el cual fue cortado longitudinalmente en una sección, de tal manera que sirviera de canal o guía en donde las heces o alimentos se depositaron.

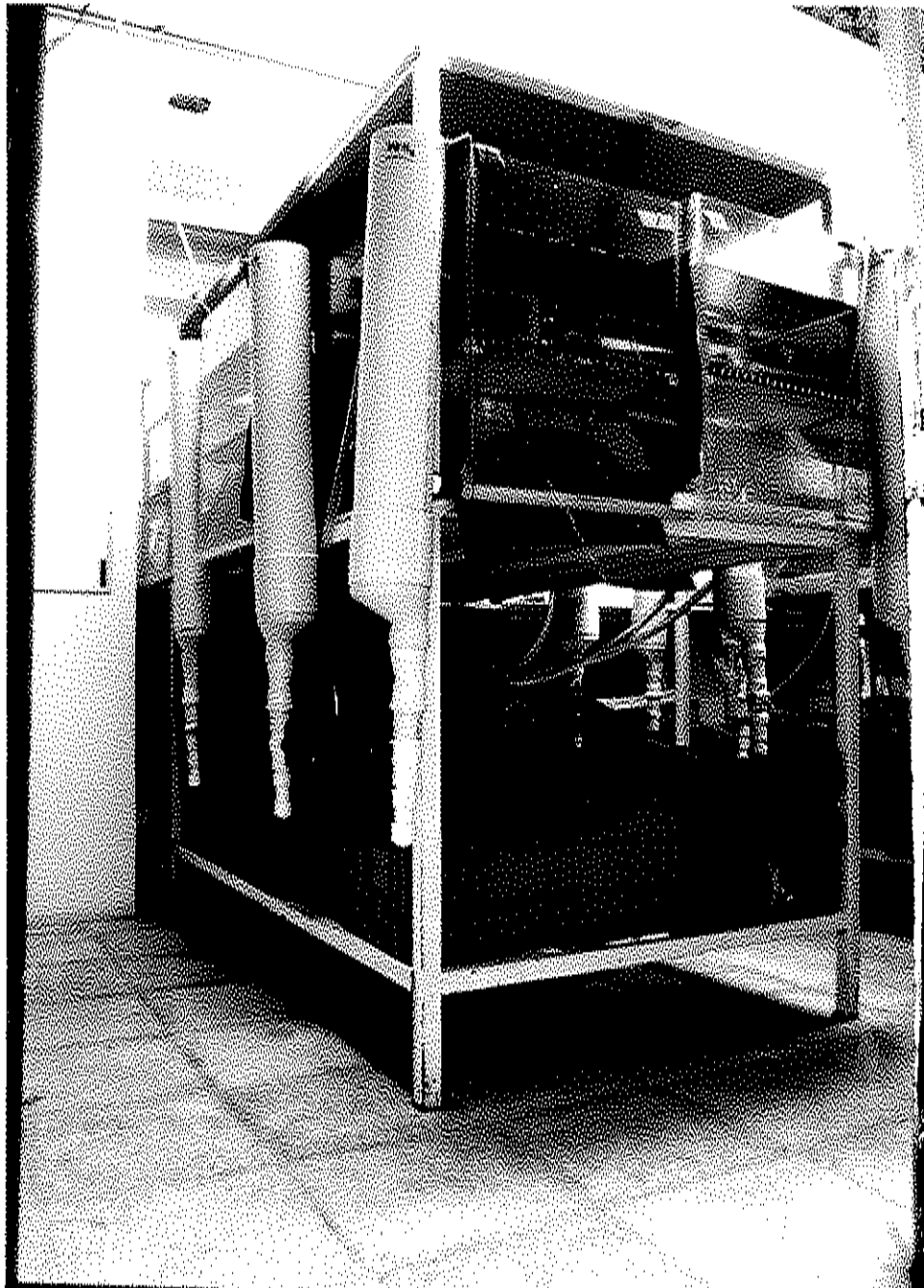


Fig. 2.- Sistema para colecta de heces por sifón (SS). Corresponde a las cajas plásticas localizadas en la parte baja ésta.

Este tubo se colocó en todo lo ancho del acuario y estuvo conectado a la columna de sedimentación. Para facilitar el paso de los materiales sólidos (heces y alimento no consumido) se colocó un tubo de vidrio (medio cm de diámetro) dirigido hasta el fondo y en extremo opuesto de la columna de sedimentación del acuario, haciéndole un dobléz de 90°. A través de este tubo se hizo pasar el agua para facilitar aún más la conducción de los sólidos hacia la columna de sedimentación.

La columna de sedimentación consistió de un tubo de PVC de 10.16 cm de diámetro y 65 cm de longitud. En la parte baja del tubo se unió otro (de 26 cm) de forma cónica con una válvula hidráulica de PVC de 1.90 cm, con la cual se permitió la salida de agua para la limpieza del acuario y para la colecta de heces.

El agua efluente libre de sólidos de cada acuario se drenó desde la parte superior de la columna de sedimentación para mantener un nivel de agua constante en cada acuario. El agua se condujo a un tanque (de 450 lts) de recuperación, donde se sedimentaron pequeños sólidos que no lograron depositarse en la columna. Antes de reciclarse el agua, ésta se pasó a través de dos filtros biológicos con el fin de mantener las concentraciones de metabolitos ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ) en el sistema por debajo de los niveles tóxicos.

Para la recirculación, el agua se elevó al sistema mediante una bomba centrífuga de 1/20 HP y se mantuvo un flujo de cinco litros por minuto para cada acuario.

En cada acuario se colocó una plataforma plástica de rejillas de 39 X 30 X 1 cm, con el fin de aumentar el área en la que el camarón pudiera descansar y/o desplazarse. Esta misma plataforma se forró con una malla, en donde se corroboró que a través de ella pasaban libremente las heces y el alimento no ingerido.

Durante las pruebas preliminares se observó que, a pesar de las modificaciones y ajustes de flujos de agua realizados en el SGM, no todas las heces eran conducidas a la columna de sedimentación, quedando parte de éstas en el fondo inclinado bajo la plataforma. Sin embargo, se encontró que el dejar un camarón bajo la misma corregía totalmente el problema, pues involuntariamente el camarón en su nado provocó que todo el material que antes se quedaba en el fondo fuera barrido y llevado sin ninguna dificultad hacia la columna de sedimentación.

Dado que el camarón presenta hábitos coprófagos, se realizaron observaciones por varias horas en los acuarios y se pudo comprobar que ninguna de las heces fueron utilizadas como alimento por el camarón situado bajo la plataforma.

Este sistema descrito [sistema de Guelph modificado (SGM)] se representa en la figura 3.

#### Parámetros Ambientales.

En el primer experimento, la temperatura del agua se registró al menos tres veces al día, empleando un termómetro de mercurio. Se elevó la temperatura en la sala de acuarios a 28°C con la ayuda de un calentador de ambiente Lakewood modelo 792/792-A. Se utilizó también un ventilador para mantener una temperatura uniforme en la misma sala. Se tomaron lecturas de salinidad en cada acuario dos veces al día durante todo el experimento con la ayuda de un refractómetro manual marca Atago. Los valores de oxígeno disuelto se determinaron diariamente mediante un oxímetro YSI modelo 57, lo mismo que el valor de pH (pHmetro digital Conductronic). Se tomaron muestras

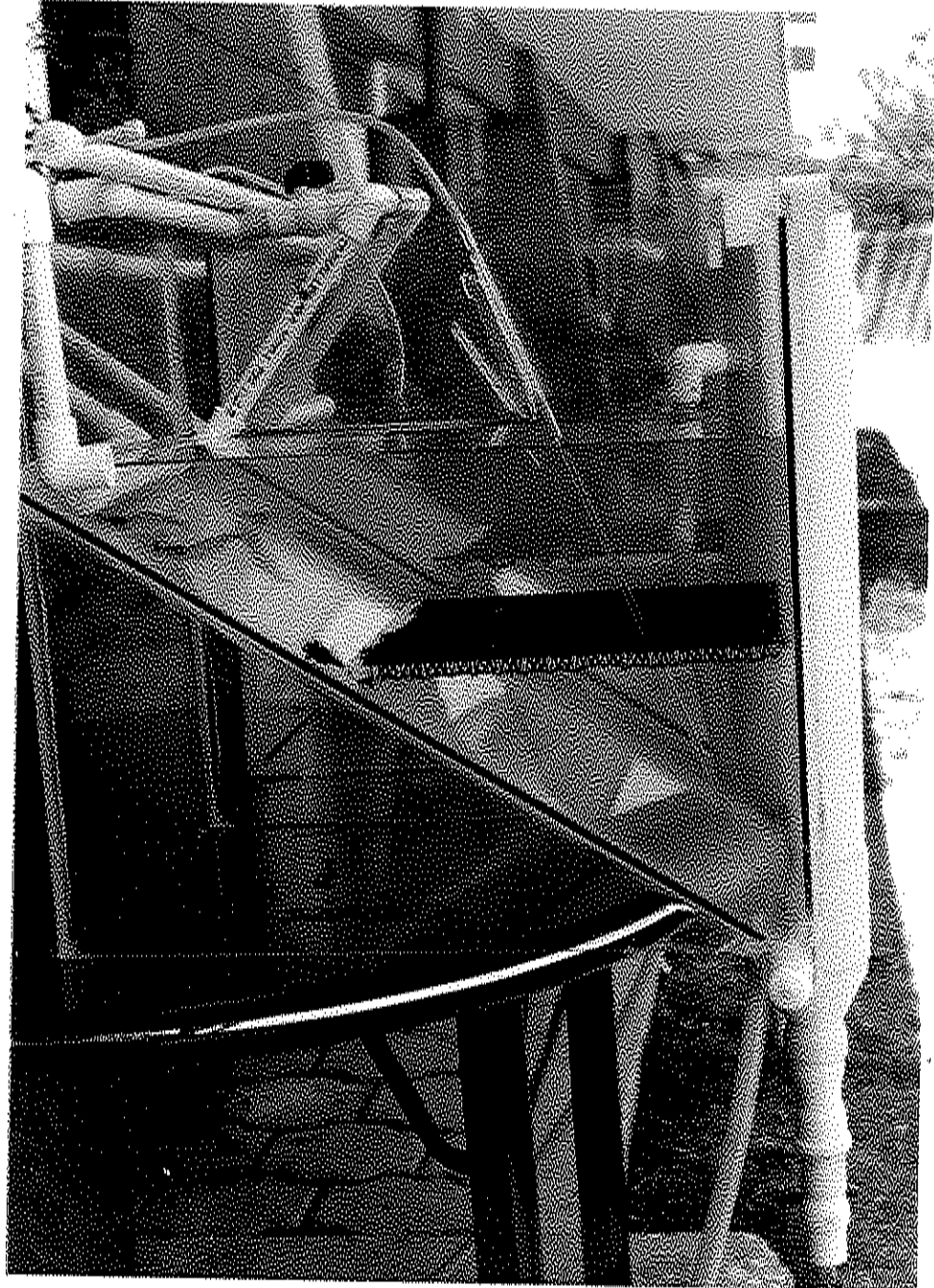


Fig. 3.- Sistema Guelph modificado (SGM)

de agua de cada sistema una vez a la semana para la determinación de  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{NO}_3$  mediante técnicas cualitativas (HACH, portable water test kit modelo FF-3) y cuantitativas (descritas en Parsons *et al.*, 1984).

En el segundo experimento, el análisis de los parámetros ambientales fue más rápido, pues sólo se manejó un sistema (SGM) con los dos módulos de seis acuarios cada uno. Además, por las características del mismo las evaluaciones se realizaron por módulos. En este experimento, la temperatura fue el único parámetro que se modificó, bajándola de 28 a 22°C con la ayuda de un aire acondicionado comercial.

En ambos experimentos se manejó un fotoperiodo de 12 horas luz y 12 horas de oscuridad.

#### Preparación de la Dieta

Las dietas experimentales se formularon procurando tener en cada una de ellas niveles similares de proteínas y lípidos. La principal diferencia entre las dietas fue el origen de la proteína. En una dieta se empleó harina de pescado (sardina) y en la otra harina de soya desgrasada como fuente de proteína. La dieta basada en la harina de pescado se designó como HP y la que se basó en harina de soya HS. En la tabla 5 se muestran las cantidades que se incorporaron de cada ingrediente, así como el análisis proximal derivado de estas dietas. Se utilizó óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) como marcador en las dietas para evaluar los coeficientes de digestibilidad aparente, su inclusión fue del 0.5%.

Las dietas se diseñaron para mostrar el efecto del origen de la proteína (pescado y soya) sobre los coeficientes de digestibilidad de este nutriente y sus

Tabla 5. Dietas Experimentales. Composición y Análisis Proximal.

Ingrediente	Cantidad Incorporada por Dieta (%)	
	HP	HS
Harina de Pescado	67.15	0
Harina de Soya	0	89.59
Aceite de Pescado	0.82	5.94
Almidón	26.53	0.22
Lecitina de Soya	0.5	0.5
Harina de Calamar	0.5	0.5
Premezcla de Vits.	0.5	0.5
Premezcla de Miner.	0.5	0.5
Agara Agar	1.5	1
Carboximetil Celulosa	1	0.5
Betaína anhidra	0.5	0.25
Oxido de cromo	0.5	0.5
<b>Análisis Proximal<sup>1</sup></b>		
Proteína	46.99	46.8
Lípidos	8.46	6.87
Carbohidratos	28.05	34.85
Fibra	0.57	3.63
Cenizas	15.45	7.36
Oxido de cromo <sup>2</sup>	0.48	0.49

<sup>1</sup>Valores en porciento de base seca.

<sup>2</sup>Al 99%. Chemical MFG Corp.



aminoácidos. Cada una de las dietas elaboradas se analizaron para determinar el tipo y cantidad de aminoácidos presentes. Cabe señalar que, dada las condiciones de hidrólisis ácida empleada en este análisis, no fue posible cuantificar el triptofano, pues es destruido completamente. La tabla 6 muestra los aminogramas que se practicaron a las dietas. Los valores son promedio de tres repeticiones.

En la preparación de las dietas se utilizó una mezcladora de harinas con capacidad de 1Kg marca Hobart en la que se homogeneizaron todos los ingredientes, exceptuando el almidón. Posteriormente este último se agregó, gelatinizado en agua destilada a 90°C, a la mezcla para la obtención de la masa que finalmente se hizo pasar a través de un molino de carne en el que se formó una sustancia tipo espagueti. Esta última se colocó en un sistema secador de bandejas empleando aire forzado a 35°C durante 12 hrs. Después de este tratamiento las dietas se quebraron en tamaños apropiados para la alimentación del camarón. Finalmente, las dietas se almacenaron en un congelador a -20°C y sólo pequeñas porciones (20g) de cada dieta se colocó en refrigeración (4°C) para la alimentación diaria.

### Procedimiento Experimental

#### **Primer Experimento.**

(Dos Sistemas, dos Dietas y dos Salinidades a 28°C).

En el primer experimento se manejaron seis tratamientos (tres factores con dos niveles cada uno y tres repeticiones). Se emplearon dos sistemas

Tabla 6.- Perfil de Aminoácidos de las Dietas Experimentales<sup>1</sup>.

Aminoácido por Dieta, %(peso).		
Aminoácido Esencial	Dieta HP	Dieta HS
Treonina	1.58	1.36
Valina	1.51	1.28
Isoleucina	1.26	1.20
Leucina	2.27	2.22
Fenilalanina	0.43	0.33
Histidina	0.95	0.75
Lisina	2.28	1.68
Arginina	1.88	2.04
Metionina	0.59	0.22
<b>Aminoác. no Esencial</b>		
Ac. aspártico	3.32	3.86
Serina	1.49	1.83
Ac. glutámico	4.04	4.97
Prolina	1.53	1.56
Glicina	1.98	1.33
Alanina	1.69	1.25
Cistina	0.24	0.74
Tirosina	1.21	1.54

<sup>1</sup> Los valores son promedios de tres repeticiones.

(SGM y SS), dos dietas (HP y HS) y dos salinidades (35‰ y 16‰) como se describe en la figura 4. En cada uno de los acuarios se colocó un total de cinco camarones y la temperatura del bioensayo fue de 28°C.

Los camarones se colocaron en sus correspondientes acuarios ocho días antes del experimento. Este tiempo se empleó para eliminar totalmente el error de utilizar muestras de heces con origen desconocido y no de los tratamientos experimentales. El área de los acuarios se cerró con la ayuda de una mallasombra para evitar al máximo la perturbación de los animales experimentales por visitantes ocasionales.

La alimentación se ofreció dos veces durante la mañana y dos durante la tarde y la colecta de heces se realizó dos veces al día. La alimentación se proporcionó a las 10:00 y 10:30 hrs. y el alimento no ingerido se eliminó a las 11:00 hrs. para posteriormente colectar heces a las 12:30 hrs. A las 14:00 y 14:30 hrs se le ofreció nuevo alimento y se lavaron las cámaras a las 15:00 hrs. para colectarse las heces a las 16:30 hrs. Durante la noche no se proporcionó alimento para evitar una perturbación del sistema; además, las heces que se colectaron de la tarde de un día a la mañana siguiente se encontraron en buena proporción lixiviadas, por lo que no entraron en el estudio. Estas operaciones se llevaron a cabo en ambos sistemas de manera simultánea.

Después de la colecta de heces, éstas se lavaron con agua destilada para eliminar la sal proveniente del agua del sistema. Una vez realizada esta operación, las heces se colocaron en cajas de Petri (una por acuario) y se llevaron a secar en una estufa a 105°C durante 12 hrs. Posteriormente las heces secas se removieron de su caja cuidadosamente con la ayuda de una hoja de bisturí, se pulverizaron en un mortero y se almacenaron por tratamiento dentro de un desecador en un frasco cerrado, hasta completar un mínimo de 2.5 g de muestra por tratamiento. Debido a que una vez terminado este primer

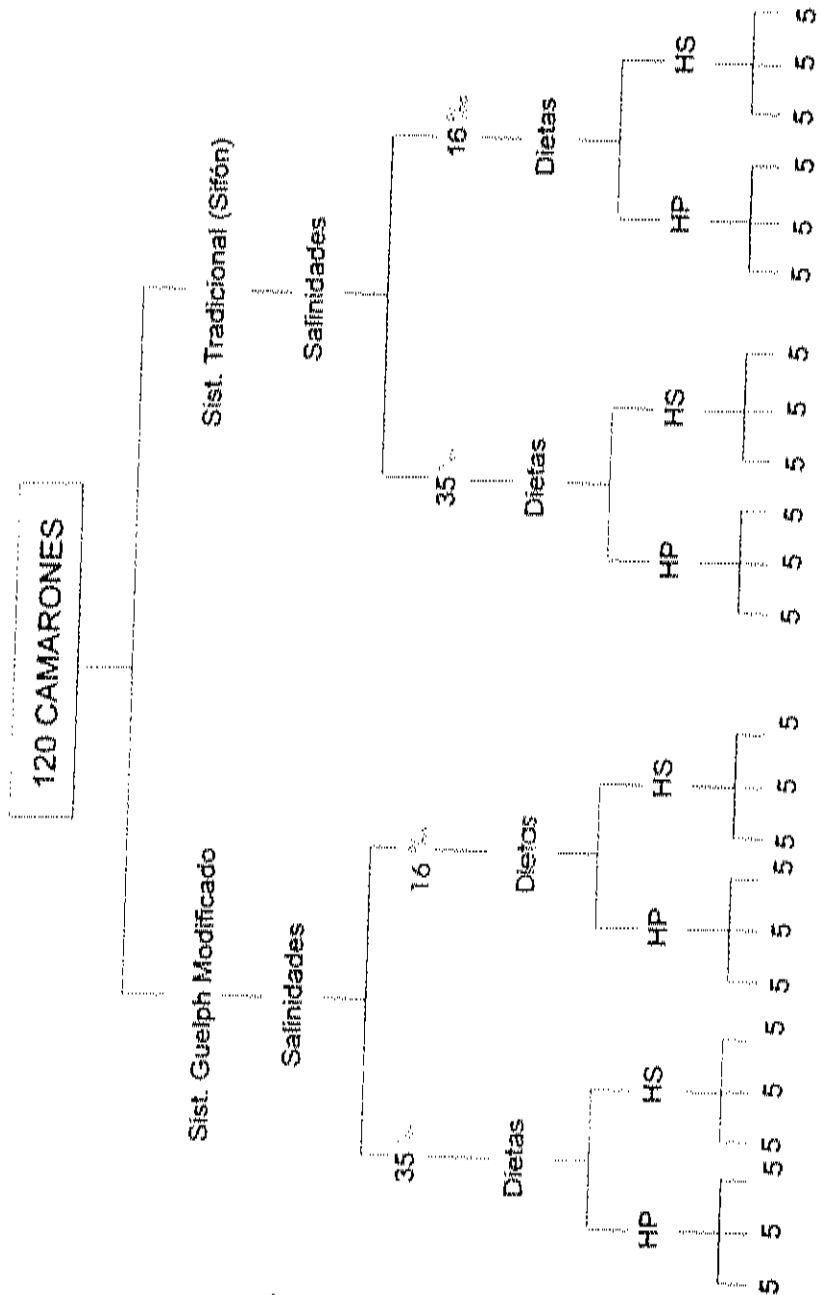


Figura 4. Diagrama de flujo del primer experimento

experimento continuó un segundo bioensayo, las muestras se guardaron en un congelador a  $-70^{\circ}\text{C}$ , hasta la realización de los diferentes análisis químicos.

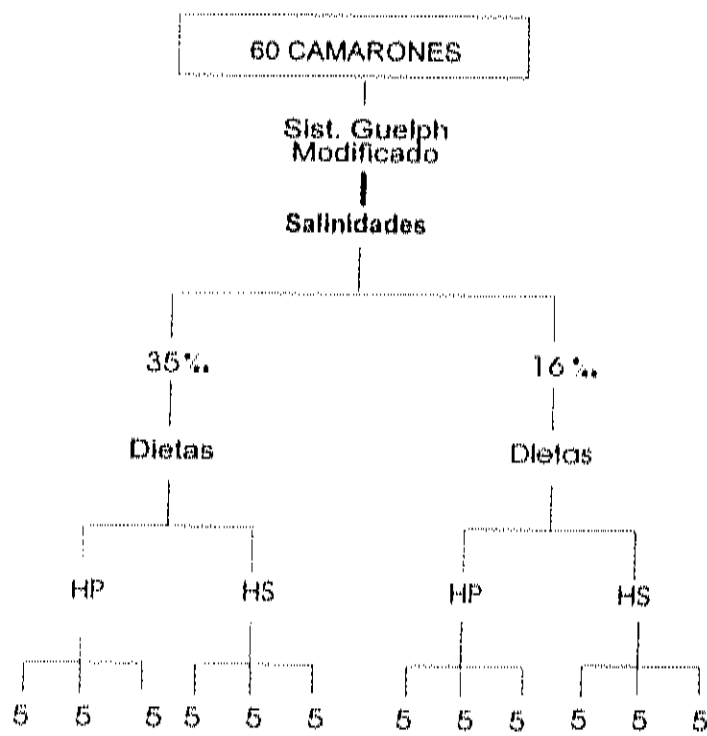
### **Segundo Experimento.**

(Un Sistema, dos Dietas y Dos Salinidades a  $22^{\circ}\text{C}$ ).

En este experimento se empleó sólo un sistema de colecta de heces, con ambas dietas (HP y HS) y bajo las dos salinidades (35‰ y 16‰). El sistema que se eligió fue el SGM, ya que demostró ser tan eficiente como el SS, pero mucho más rápido en su funcionamiento. La figura 5 resume la forma en que se distribuyó el sistema experimental. La temperatura en la que se realizó este segundo experimento fue de  $22^{\circ}\text{C}$ , la disminución del sistema a esta temperatura se realizó de manera gradual en un lapso de ocho días y después de siete días se dió inicio a este experimento.

### Análisis Químicos.

Se realizaron análisis proximal a las dietas y a las muestras de heces mediante el uso de técnicas estandar. La proteína se evaluó por el método de Kjeldhal, utilizando el equipo Tecator 1030 (AOAC, 1980). Las grasas se analizaron por extracción con solvente con el equipo Soxhlet, empleando éter de petróleo (AOAC, 1984), mientras que el contenido de fibra se determinó de acuerdo al método de digestión ácida y básica de Weende, empleando para ello el Sistema Fibertec M (Tecator 1020 y 1021). El valor de cenizas se obtuvo mediante la calcinación de la muestra a  $550^{\circ}\text{C}$  durante 12 horas, utilizando



**Figura 5. Diagrama de flujo del segundo experimento**

para ello una mufla y el contenido de carbohidratos se calculó mediante la diferencia entre el peso de la muestra seca y la suma de los pesos de cada una de las determinaciones anteriores.

### Valor de Digestibilidad Aparente.

#### **Determinación de Óxido de Cromo.**

Para el análisis de digestibilidad aparente se determinó la concentración de óxido de cromo tanto en el alimento como en las heces. El análisis de óxido de cromo se llevó a cabo empleando una modificación al método propuesto por Furukawa y Tsukahara (1966), a fin de poderse emplear con micromuestras (Olvera y col., 1993). Las muestras se pesaron en la Balanza Mettler MT/Unit Toledo, que permite obtener una precisión de 0.01 mg. Los valores de absorbancia que se obtienen después de leer las muestras (tratadas) en un espectrofotómetro (350 nm) son introducidos en la siguiente ecuación para obtener así la cantidad de óxido de cromo en la muestra:

$$x = [(y - 0.0032)/0.2089] 0.25,$$

donde x= cantidad de óxido de cromo, mg.  
y= valor de absorbancia a 350 nm.

Sin embargo, al analizar las dietas conteniendo óxido de cromo, los valores de absorbancia obtenidos representaron cifras más altas de lo esperado, al ser introducidos estos valores en la ecuación propuesta por los autores antes mencionados.

Para dar solución a este problema, se decidió elaborar una curva estandar, utilizando el mismo reactivo de óxido de cromo que se empleó en la formulación de las dietas experimentales. La figura 6 representa la curva estandar que se obtuvo y la ecuación de regresión lineal derivada de ésta, con una  $R=0.998$ , es la siguiente:

$$x = [(y - 0.0063271)/0.17541] 0.25$$

El cálculo de la digestibilidad se realizó empleando la ecuación propuesta por Mainard y Loosli (1969):

$$D = 100 - (A / B \times C / E ) \times 100,$$

donde D = Digestibilidad del nutriente; A = % del indicador en el alimento; B = % del indicador en las heces; C = % del nutriente en las heces y E = % de nutriente en el alimento.

### Aminogramas.

Para la cuantificación de aminoácidos, las muestras fueron sometidas a hidrólisis ácida bajo las siguientes condiciones: Equipo PICO-TAG (waters), HCl 6N con 1% de fenol, atmósfera de  $N_2$ , presión de 1-2 torr, temperatura de 105 a 112°C y tiempo de 24 hrs. Una vez concluida la hidrólisis, los aminoácidos se separaron por medio de Cromatografía Líquida de Alta Precisión (HPLC) en las siguientes condiciones: Equipo Beckman System 6300 High Performance Amino Acid Analyzer, con columna de intercambio catiónico, Sodium High-Performance Column, de 25 .cm; para la elusión se manejó el Método II, empleando Na-EFDR como amortiguadores, se utilizó un flujo de 21



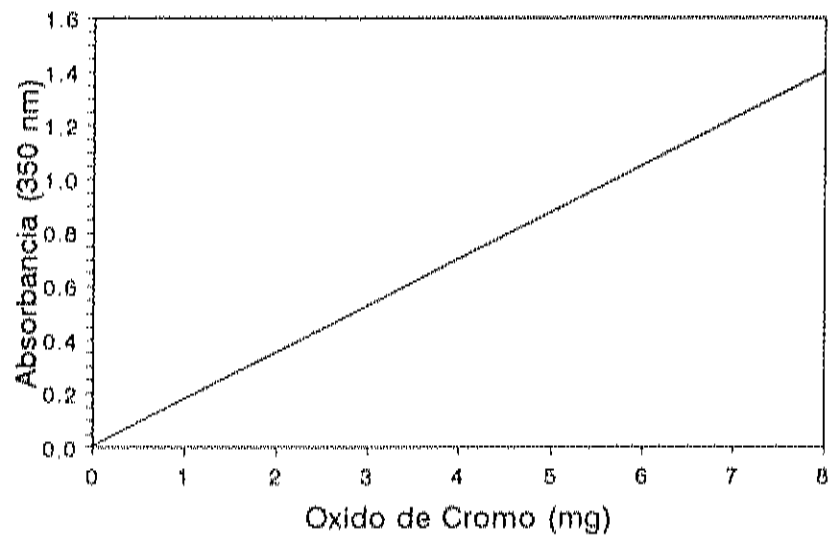


Fig. 6. Curva estándar de óxido de cromo

ml/hr y para la detección se empleó ninhidrina evaluada a longitudes de onda de 570 y 440 nm. El método es descrito por Arrizon-Lopez *et al.* (1987). El valor de digestibilidad aparente de aminoácidos también se calculó empleando la ecuación de Mainard y Loosli (1969).

### Diseño Experimental y Análisis Estadístico.

Se utilizó un diseño factorial de tres factores con dos niveles cada uno,  $2^3$ , [sistema (SS y SGM), dieta (HP y HS) y salinidad (35‰ y 16‰)] para el primer experimento y en el segundo experimento fue un factorial  $2^2$  [dieta (HP y HS) y salinidad (35‰ y 16‰)]. Para evaluar el efecto de la temperatura se manejó un factorial de  $2^2$  [dieta (HP y HS) y temperatura (28°C y 22°C)].

Los resultados experimentales se evaluaron empleando análisis de varianza y pruebas de Tukey's por SAS (1984).

## RESULTADOS

### Sistema de Colecta de Heces

#### **Comparación entre los Sistemas**

El sistema de Guelph modificado es un método de colecta de heces semi-automático que permitió llevar a cabo esta operación con mayor control. En éste, los camarones se alimentaron a demanda e inmediatamente se limpió el sistema permitiendo la salida, por la parte inferior, de aproximadamente diez litros de agua del acuario y con ello los residuos de alimentos que pudieran permanecer en el sistema. Después de que se observó la defecación por parte de los camarones y de que estas heces se dirigieron hacia la columna de sedimentación sin ningún problema, se procedió a su colecta drenando aproximadamente dos litros de agua, en donde estaban contenidas las heces. Posteriormente estas heces se pasaron por una malla y se lavaron con agua dulce para eliminar las sales, procurando evitar al máximo su lixiviación.

En la tabla 7 se indican algunos parámetros importantes a considerar en los sistemas de colecta de heces y se resume un análisis comparativo de resultados entre ambos sistemas empleados en el estudio.

### Aceptación de las Dietas

Las dietas experimentales presentaron una estabilidad al medio acuático

Tabla 7. - Análisis Comparativo de los Sistemas de Colecta de Heces.

Parámetro	Sistema Guelph Modificado (SGM)	Sistema Sifón (SS)
Homogeneidad	Alta homogeneidad en todas las condiciones ambientales del estudio, dado su diseño.	No puede garantizarse en todos los acuarios del sistema.
Operabilidad	Por su funcionamiento semiautomático, las operaciones se facilitan y permite realizar la colecta en un tiempo menor de cinco minutos por acuario.	Su operación es totalmente manual y en cada acuario se invierten hasta más de 15 minutos.
Eficiencia	La cantidad de heces colectadas a través de éste es considerablemente más alta (de 14% a 30%) que la del SS; además, en él también se garantiza la ausencia de actividad coprofágica de los camarones.	Su diseño no permite la colecta del total de heces que deposita el camarón en los acuarios
Estrés	Las operaciones de colecta de heces, recambio de agua y del lavado del sistema se llevan a cabo fuera de los acuarios, con lo que la perturbación de los organismos es mínima.	La perturbación de los camarones es constante en todas las maniobras del sistema.

aceptable, manteniendo su integridad por un tiempo mayor a 20 minutos; suficiente para que el camarón pudiera disponer de ellas sin dificultad. Ambas dietas fueron bien aceptadas por los animales experimentales, quienes las consumieron en su totalidad durante todo el experimento.

### Parámetros Ambientales

Los datos registrados sobre los parámetros ambientales, así como la frecuencia con la que se recabaron cada uno de ellos se resumen en la tabla 8. Aquí se condensan los valores de ambos experimentos. La diferencia presentada en los parámetros ambientales como temperatura ( $28\pm 1^{\circ}\text{C}$  y  $22\pm 0.9^{\circ}\text{C}$ ), salinidad (35‰ y 16‰), pH ( $8.2\pm 0.2$  y  $8.5\pm 0.3$ ) y oxígeno disuelto ( $6.2\pm 0.5$  y  $5.9\pm 0.7$  mg/l) en los dos experimentos fue mínima durante la etapa experimental. Durante esta misma etapa, los metabolitos tóxicos analizados como son  $\text{NO}_2$  (0.001 mg/l),  $\text{NO}_3$  (7.7 a 11.9 mg/l) y  $\text{NH}_4$  (0.002 a 0.004 mg/l) no fueron detectados mediante la técnica y equipo de Hach empleada rutinariamente, la cual es una técnica cualitativa, confirmándose lo anterior mediante una técnica cuantitativa (descrita por Parsons *et al.*, 1984) más sensible, que reveló que las concentraciones de los metabolitos estaban en el orden de microgramos por litro. Se considera, por lo tanto, que los parámetros de calidad de agua analizados se encontraron dentro de los rangos adecuados para la especie en estudio, lo que indica que éstos no influenciaron en los resultados.

Tabla 8.- Parámetros Ambientales Registrados en los dos Experimentos.

Parámetro	Primer Experimento		Segundo Experimento	
	Valor	Frecuencia	Valor	Frecuencia
Temperatura	28±1°C	4 veces/día	22±0.9°C	4 veces/día
Salinidad	35‰ y 16‰ según tratam.	2 veces/día	35‰ y 16‰ según tratam.	2 veces/día
pH	8.2±0.2	una vez/día	8.5±0.3	una vez/día
Oxig. disuelto	6.2±0.5mg/l	una vez/día	5.9±0.7mg/l	una vez/día
Amonio	0.004 mg/l	una vez/sem.	0.002 mg/l	una vez/sem.
Nitratos	11.95 mg/l	una vez/sem.	7.73 mg/l	una vez/sem.
Nitritos	0.001 mg/l	una vez/sem.	0.001 mg/l	una vez/sem.

### Análisis Proximal.

La tabla 9 muestra los resultados obtenidos del análisis proximal practicado en las heces de camarón, colectadas de cada uno de los tratamientos en los dos experimentos. Para identificar a cada uno de los tratamientos se empleó la siguiente simbología: la primera letra significa el tipo de dieta a la que estuvieron sujetos los animales experimentales (P para HP y S para HS); después se presenta un número que indica la salinidad (35‰ o 16‰) del tratamiento y finalmente una letra que representa el tipo de sistema utilizado (G para SGM y S para SS). En esta tabla también se incluye la cantidad de óxido de cromo encontrada en cada una de las muestras.

### Estudio de Digestibilidad

#### **Primer Experimento.**

Dos Sistemas, dos Dietas y dos Salinidades a 28°C.

En este primer experimento se evaluaron los coeficientes de digestibilidad aparente de proteínas (DAP), materia seca (DAMS), lípidos (DAL) y carbohidratos (DAC) de dos dietas experimentales con distintas fuentes de proteínas (harina de pescado, HP y harina de soya, HS) en *P. vannamei*. El estudio se realizó a una temperatura de 28°C, con dos salinidades (16‰ y 35‰) y empleando dos sistemas diferentes para la colecta de heces (SS y SGM).

Los resultados de este primer ensayo se resumen en la tabla 10. El análisis estadístico señala que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la

Tabla 9.-Análisis Proximal en Heces de Camarón de cada uno de los Tratamientos en los dos Experimentos<sup>1</sup>.

Primer Experimento						
Trata- miento	Proteína	Lípidos	Carbohi- dratos	Fibra	Cenizas	Óxido de cromo
P35G	28.8	0.7	16.5	10.5	43.7	1.116
P35S	26.6	1.7	15.3	9.5	45.8	1.123
P16G	30.5	0.9	15.5	11.2	40.5	1.214
P16S	26.4	3.0	18.2	8.0	43.1	1.159
S35G	12.5	4.1	36.0	21.3	24.9	1.158
S35S	12.6	1.7	35.7	27.1	21.8	1.196
S16G	13.5	1.3	35.7	24.8	23.4	1.247
S16S	14.7	1.1	35.6	25.3	22.1	1.130
Segundo Experimento						
P35G	31.7	3.9	20.8	5.6	36.6	1.371
P16G	33.9	3.0	16.4	6.7	38.5	1.388
S35G	18.8	3.4	37.6	20.0	18.3	1.806
S16G	20.2	4.6	35.2	21.2	17.0	1.786

<sup>1</sup>Datos calculados en porciento de base seca.



DAP sólo por efecto de la dieta experimental. La HS presentó valores más altos de digestibilidad (86.4 a 89%) comparado a los de HP (73.4 a 76.6%).

No se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) en la DAP por efecto del sistema para la colecta de heces (75.7 a 89% en SS y 73.4 a 88.7% en el SGM) ni por el factor salinidad (entre 79.4 y 89% a 35‰ y entre 74.1 y 88.7% a 16‰).

La DAMS se mantuvo en un promedio de 58.3% (en el intervalo de 56.6% y 60.7%) y no se presentaron efectos que dieran diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) por ninguno de los factores estudiados.

Al igual que la DAMS, la DAL no se vió alterada por ninguno de los factores estudiados y su valor promedio fue el más alto de todos, con un porcentaje de 89.8.

En cambio la DAC se vió modificada por efecto de la dieta. En este caso los carbohidratos presentes en la HP (almidón gelatinizado) dieron valores de digestibilidad más altos (73 a 78%) que los carbohidratos contenidos en la HS (55.7 a 59.8%). Nuevamente, los factores sistema de colecta de heces y salinidad no mostraron efectos estadísticamente significativos ( $p < 0.05$ ).

En el SS se obtuvieron valores de DAC entre 55.7 y 76.5%, mientras que para el SGM los valores estuvieron entre 56.2 y 78%. Por su parte, los valores obtenidos para las salinidades de 35‰ y 16‰ fueron de 56.2 a 76.5% y de 55.7 a 78% respectivamente.

### **Segundo Experimento.**

Un Sistema, dos Dietas y dos Salinidades a 22°C.

El segundo experimento se llevó a cabo en un sólo sistema de colecta de heces (SGM) y bajo las mismas condiciones de salinidad, dieta y animales que el primer experimento, excepto que la temperatura se modificó de 28°C a 22°C.

Tabla 10. Digestibilidad Aparente de Proteína, Materia Seca, Lípidos y Carbohidratos de Dietas Experimentales en *P. vannamei*, Determinada en dos Sistemas de Colecta de Heces (SS y SGM), dos Salinidades (35 y 16‰) y 28°C<sup>1</sup>.

Dieta	Sistema	DAP		DAMS		DAL		DAC	
		Salinidades		Salinidades		Salinidades		Salinidades	
		35‰	16‰	35‰	16‰	35‰	16‰	35‰	16‰
HP	SGM	73.4 <sup>b</sup>	74.1 <sup>b</sup>	56.7 <sup>a</sup>	60.2 <sup>a</sup>	96.5 <sup>a</sup>	95.6 <sup>a</sup>	74.5 <sup>a</sup>	78.0 <sup>a</sup>
	SS	75.7 <sup>b</sup>	76.6 <sup>b</sup>	57.0 <sup>a</sup>	58.3 <sup>a</sup>	91.3 <sup>a</sup>	85.1 <sup>a</sup>	76.5 <sup>a</sup>	73.0 <sup>a</sup>
HS	SGM	88.7 <sup>a</sup>	88.7 <sup>a</sup>	60.7 <sup>a</sup>	74.7 <sup>a</sup>	74.6 <sup>a</sup>	92.7 <sup>a</sup>	56.2 <sup>b</sup>	59.8 <sup>b</sup>
	SS <sup>2</sup>	89.0 <sup>a</sup>	86.4 <sup>a</sup>	59.0 <sup>a</sup>	56.7 <sup>a</sup>	90.1 <sup>a</sup>	92.8 <sup>a</sup>	58.1 <sup>b</sup>	55.7 <sup>b</sup>

<sup>1</sup> Los valores son medias de tres repeticiones (cinco camarones / repetición).

<sup>a, b</sup> Medias en la misma columna con diferente superíndice difieren significativamente ( $p < 0.05$ ).

Los datos obtenidos de este experimento se resumen en la tabla 11.

El factor dieta presentó diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ), al evaluarse la DAP. La proteína contenida en la HS resultó ser más digerible por el camarón blanco y sus valores oscilaron entre 88.2 y 89.1%, mientras que para la HP estuvieron entre 74.9 y 76.2%. El factor salinidad no tuvo un efecto importante, registrando valores entre 76.2 y 89.1% para una salinidad de 35‰ y de 74.9 a 88.2% para 16‰ de salinidad.

La DAMS en este experimento resultó ser más alta para la HS (72.6 a 72.9%) que para la HP (64.8 a 65.2%) y esta diferencia fue estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ). El valor obtenido de DAMS para HP resultó ser la cifra de digestibilidad aparente más baja registrada en este estudio.

El valor más alto de digestibilidad aparente fué el que se obtuvo a partir de los componentes lipídicos (DAL); su valor promedio general fué de 84.9%. Los tratamientos aplicados en el estudio no modificaron el valor de DAL cuando estos se analizaron estadísticamente a un nivel de significancia del 5%. El factor dieta presentó valores de 83.5 a 87.7% para HP y de 81.5 a 86.7% para HS. Mientras que para la salinidad las cifras fueron de 83.5 a 86.7% y de 81.5 a 87.7% para 35‰ y 16‰ respectivamente.

Cuando se evaluó la DAC se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) por efecto de la dieta, correspondiendo valores más altos para HP (73.8 a 79.7%) que para HS (70.7 a 72.3%). Los valores obtenidos por efecto de la salinidad fueron un poco distintos aunque no fue suficiente para considerarse estadísticamente distintos al ser analizados sus datos a un nivel de 5% de significancia. Para la salinidad de 35‰ se obtuvieron valores de 70.7 a 73.8%, mientras que para una salinidad de 16‰ los valores fueron de 72.3 a 79.7%.

En la tabla 12 se muestra el efecto que representan tanto la dieta como la temperatura sobre la digestibilidad de los nutrientes. Nuevamente se observa que el factor dieta ejerce un importante efecto sobre la DAP (de 73.4 a 76.2%

Tabla 11.- Digestibilidad Aparente de Proteína, Materia Seca, Lípidos y Carbohidratos de Dietas Experimentales en *P. vannamei*, Determinada en SGM a dos Salinidades (35 y 16‰) y a una Temperatura de 22°C<sup>1</sup>

Dieta	DAP		DAMS		DAL		DAC	
	Salinidades		Salinidades		Salinidades		Salinidades	
	35‰	16‰	35‰	16‰	35‰	16‰	35‰	16‰
HP	76.2 <sup>b</sup>	74.9 <sup>b</sup>	64.8 <sup>b</sup>	65.2 <sup>b</sup>	83.5 <sup>a</sup>	87.7 <sup>a</sup>	73.8 <sup>a</sup>	79.7 <sup>a</sup>
HS	89.1 <sup>a</sup>	88.2 <sup>a</sup>	72.9 <sup>a</sup>	72.6 <sup>a</sup>	86.7 <sup>a</sup>	81.5 <sup>a</sup>	70.7 <sup>b</sup>	72.3 <sup>b</sup>

<sup>1</sup> Los valores son medias de tres repeticiones (cinco camarones/repetición).

<sup>a,b</sup> Medias en la misma columna con diferente superíndice difieren significativamente ( $p < 0.05$ ).

para HP y de 88.2 a 89.1% para HS), estableciéndose diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ); no así el factor temperatura, donde esta variable presentó poca variación en sus valores promedios (de 73.4 a 88.7% y de 74.9 a 89.1% para las temperaturas de 28°C y 22°C respectivamente). Sin embargo, se aprecia que la temperatura sí presentó un efecto sobre la DAC, donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ); aquí los valores fueron más altos para 22°C (70.7 a 79.7%) que para 28°C (56.2 a 78%). También se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) dada la interacción dieta-temperatura, concretamente en HS, registrándose valores más altos a 22°C (70.7 a 72.3%) que a 28°C (56.2 a 59.8%). De igual forma, la DAMS presentó diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) por efecto de la dieta (de 56.7 a 65.2% para HP y de 60.7 a 74.7% para HS), la temperatura (de 56.7 a 74.7% para 28°C y de 64.8 a 72.9% para 22°C) y su interacción, inducida por el comportamiento de la DAC ante estos factores.

### **Digestibilidad de Aminoácidos.**

En la tabla 13 se observa que la digestibilidad aparente de aminoácidos (DAA) de la harina de soya posee mayor digestibilidad que su contraparte de pescado, pues en todos los aminoácidos evaluados se obtuvieron mayores índices de digestibilidad por parte del camarón blanco, bajo los dos niveles de temperatura analizados.

Los valores de DAA estuvieron en el intervalo de 85.9% y 96.3% para HS y de 66.5% a 87.0% para HP. Las diferencias encontradas entre las DAA para cada uno de los aminoácidos fueron estadísticamente significativas al evaluarse a un nivel de significancia del 5%.

Tabla 12.- Digestibilidad Aparente de Proteína, Materia Seca, Lípidos y Carbohidratos de Dietas Experimentales en *P. vannamei*, Determinada a dos temperaturas (28 y 22°C), dos Salinidades (35 y 16‰) y un Sistema de colecta de Heces (SGM)<sup>1</sup>.

Dieta	Temperatura	DAP		DAMS		DAL		DAC	
		Salinidades		Salinidades		Salinidades		Salinidades	
		35‰	16‰	35‰	16‰	35‰	16‰	35‰	16‰
HP	28°C	73.4 <sup>b</sup>	74.1 <sup>b</sup>	56.7 <sup>d</sup>	60.2 <sup>c</sup>	96.5 <sup>a</sup>	95.6 <sup>a</sup>	74.5 <sup>a</sup>	78.0 <sup>a</sup>
	22°C	76.2 <sup>b</sup>	74.9 <sup>b</sup>	64.8 <sup>b</sup>	65.2 <sup>b</sup>	83.5 <sup>b</sup>	87.7 <sup>b</sup>	73.8 <sup>a</sup>	79.7 <sup>a</sup>
HS	28°C	88.7 <sup>a</sup>	88.7 <sup>a</sup>	60.7 <sup>c</sup>	74.7 <sup>a</sup>	74.6 <sup>c</sup>	92.7 <sup>a</sup>	56.2 <sup>b</sup>	59.8 <sup>c</sup>
	22°C	89.1 <sup>a</sup>	88.2 <sup>a</sup>	72.9 <sup>a</sup>	72.6 <sup>a</sup>	86.7 <sup>b</sup>	81.5 <sup>c</sup>	70.7 <sup>b</sup>	72.3 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>Los valores son medias de tres repeticiones (cinco camarones por repetición).

<sup>a,b,c,d</sup>Medias en la misma columna con diferente superíndice difieren significativamente ( $p < 0.05$ ).

Las más altas digestibilidades le correspondieron a la arginina (95.6%), a la metionina (95.2%) y a la lisina (92.2%) en la dieta de HS y para la dieta de HP los valores más altos fueron para la metionina (88.4%), la lisina (86.8%) e histidina (85.5%); todos ellos aminoácidos esenciales.

Los valores más bajos fueron para la glicina (86.2%), treonina (88.0%) y serina (88.2%) para HS y glicina (67.4%), prolina (72.1%) y serina (75.3%) para HP. Estos aminoácidos no son esenciales en la alimentación del camarón, excepto la treonina.

Cuando las dietas fueron evaluadas en función de la DAA a distintas temperaturas (28°C y 22°C) no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ).

Tabla 13. Digestibilidad Aparente de Aminoácidos de Dietas Experimentales (HP y HS) Bajo dos Diferentes Temperaturas (28°C y 22°C) y 35% de Salinidad en *Penaeus vannamei*.<sup>1</sup>

AA esencial	HP a 28°C	HP a 22°C	HS a 28°C	HS a 22°C
Treonina	79.5 <sup>b</sup>	81.0 <sup>b</sup>	87.2 <sup>a</sup>	88.8 <sup>a</sup>
Valina	79.5 <sup>b</sup>	81.6 <sup>b</sup>	88.8 <sup>a</sup>	88.8 <sup>a</sup>
Isoleucina	83.2 <sup>b</sup>	83.2 <sup>b</sup>	90.5 <sup>a</sup>	91.0 <sup>a</sup>
Leucina	82.9 <sup>b</sup>	83.1 <sup>b</sup>	89.9 <sup>a</sup>	90.6 <sup>a</sup>
Fenilalanina	83.9 <sup>b</sup>	84.4 <sup>b</sup>	73.1 <sup>c</sup>	96.3 <sup>a</sup>
Histidina	85.0 <sup>b</sup>	85.9 <sup>b</sup>	91.0 <sup>a</sup>	90.6 <sup>a</sup>
Lisina	86.7 <sup>b</sup>	87.0 <sup>b</sup>	92.2 <sup>a</sup>	92.3 <sup>a</sup>
Arginina	78.8 <sup>b</sup>	81.6 <sup>b</sup>	96.5 <sup>a</sup>	94.7 <sup>a</sup>
Metionina	84.6 <sup>c</sup>	92.2 <sup>b</sup>	94.2 <sup>a,b</sup>	96.2 <sup>a</sup>
<b>AA no esencial</b>				
Ac. aspártico	77.2 <sup>b</sup>	79.5 <sup>b</sup>	91.4 <sup>a</sup>	89.9 <sup>a</sup>
Serina	73.3 <sup>c</sup>	77.3 <sup>b</sup>	88.4 <sup>a</sup>	88.1 <sup>a</sup>
Ac. glutámico	78.7 <sup>b</sup>	81.3 <sup>b</sup>	92.7 <sup>a</sup>	90.9 <sup>a</sup>
Prolina	71.4 <sup>b</sup>	72.8 <sup>b</sup>	89.7 <sup>a</sup>	88.9 <sup>a</sup>
Glicina	66.5 <sup>b</sup>	68.3 <sup>b</sup>	86.6 <sup>a</sup>	85.9 <sup>a</sup>
Alanina	76.2 <sup>b</sup>	76.9 <sup>b</sup>	89.5 <sup>a</sup>	89.4 <sup>a</sup>
Cistina	84.3 <sup>b</sup>	ND*	96.2 <sup>a</sup>	79.8 <sup>c</sup>
Tirosina	74.6 <sup>c</sup>	77.9 <sup>b</sup>	91.2 <sup>a</sup>	89.8 <sup>a</sup>

<sup>1</sup> Los valores son medias de tres repeticiones (cinco camarones/repeticón).

<sup>a,b,c</sup> Las medias en el mismo renglón con diferente superíndice son diferentes ( $p < 0.05$ ).

\* Valor no detectado.



## DISCUSION

El sistema Guelph propuesto por Cho *et al.* (1982) es considerado como uno de los mejores métodos de colecta de heces para estudios de digestibilidad en peces y ha sido evaluado por diferentes investigadores (Riaza, 1986; Spyridakis *et al.*, 1988 y Hajen *et al.*, 1993). Estos autores coinciden en establecer que el dispositivo que se emplea para lograr que las heces se depositen en la columna de sedimentación no es fácil de calibrar, teniendo problemas con él. Sin embargo, el SGM no presentó esa dificultad, ya que una de las modificaciones fue para facilitar esta operación; el tubo de vidrio que se colocó hasta el fondo del acuario y por el cual se hizo pasar un flujo de agua determinado permitió facilitar la deposición de las heces en la columna de sedimentación. Además, la presencia del camarón colocado bajo la plataforma del acuario contribuyó en gran medida en la funcionalidad del sistema.

Cho *et al.* (1985) señalan que la colecta de heces la realizan desde la tarde de un día hasta la mañana del día siguiente y concluyen que la lixiviación del material fecal colectado no es una fuente de error importante. En base a ello se puede asegurar que en el presente experimento la lixiviación es insignificante, pues las heces se colectaron en un máximo de aproximadamente dos horas después de su evacuación; además, se observó que las heces obtenidas mantenían su integridad física.

Aún cuando no se conocen por completo los requerimientos nutricionales para *P. vannamei*, se han indicado algunas recomendaciones para la formulación de dietas en estos organismos. En base a ello se elaboraron las dietas para este estudio. La composición de las dietas

se presentó en la tabla 5 y los valores en porcentaje de base seca del análisis proximal para HP y HS fueron los siguientes: proteína 46.9 y 46.8; lípidos 8.46 y 6.87; carbohidratos 28.05 y 34.85; fibra 0.57 y 3.83 y cenizas 15.45 y 7.36 respectivamente.

El mayor contenido de fibra presente en la HS (3.83%) indujo al camarón alimentado con esta dieta a incrementar la producción fecal. Los niveles de fibra presentes en las dietas no excedieron los límites recomendados por Akiyama *et al.* (1991) quienes señalan que el nivel de fibra total para dietas comerciales no debe exceder al 4%, por considerarse un elemento que disminuye la estabilidad del alimento al medio acuático.

Las dos dietas experimentales fueron bien aceptadas por el camarón blanco (*P. vannamei*), particularmente la HS, pues se ha reportado que algunos peces como el salmón chinook (Fowler, 1980) y la trucha arcoiris (Lovell, 1991a) rechazan las dietas que han sido elaboradas con harina de soya. El *P. aztecus* ingiere significativamente menos alimento cuando se incluye proteína de soya purificada a un nivel de 52% en la dieta (Fenucci y Zein-Eldin, 1976). Sin embargo, los resultados del presente estudio coinciden con los de Akiyama (1991b), cuando éste evaluó la aceptación de la harina de soya en camarones peneidos (*P. vannamei*, *P. japonicus* y *P. monodon*) y encontró que las tres especies estudiadas aceptaron este ingrediente sin ningún problema. El consumo de las dietas no disminuyó a través del experimento.

Acerca de la determinación de óxido de cromo fue necesario correr una curva estandar (figura 6) para obtener una ecuación de regresión lineal, la cual difiere de manera importante de la ecuación propuesta por Furakawa y Tsukahara (1966). Estas diferencias se originan por la variación en la calidad del marcador inerte (óxido de cromo) empleado en la formulación de las dietas.

En función de los dos sistemas para colecta de heces empleados se encontró que ambos son adecuados para estudios de digestibilidad de dietas en camarones peneidos. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) en las variables evaluadas, como se mostró en la tabla 10, lo que indica que la calidad de heces colectadas en un sistema y otro es similar y adecuado para este tipo de estudios. Sin embargo, el utilizar el SGM ofrece grandes ventajas con respecto al SS, ya que, como se resume en la tabla 7, la homogeneidad, operabilidad y eficiencia son aspectos que se vieron mejorados con el uso del SGM.

Las salinidades (35‰ y 16‰) utilizadas en el experimento no mostraron un efecto en la digestibilidad aparente de las dietas cuando se evaluaron a 28°C y a 22°C (tabla 12). Los resultados sobre el efecto de la salinidad son escasos y la mayoría de ellos combinan los efectos de la salinidad con la temperatura. También, muchos están dirigidos a estados larval y postlarval en camarones peneidos y no en adultos (Lester y Pante, 1992). Cabe destacar que el *P. vannamei* presenta una alta capacidad adaptativa a las variantes del medio ambiente, reportándose que esta especie puede ser cultivada óptimamente a salinidades de 15‰ a 40‰ (Boyd, 1989; Ponce-Palafox *et al.*, en prensa). En cuanto a la temperatura, Ponce-Palafox *et al.* (en prensa) señalan un intervalo óptimo para crecimiento y producción de 25°C a 35°C. Además, el efecto sobre la actividad y producción de enzimas y la velocidad de tránsito del alimento a través del sistema digestivo, explicado por Hidalgo y Alliot (1989), permite entender más claramente este comportamiento.

La dieta fue el factor que más efecto mostró en el estudio de digestibilidad aparente de nutrientes por el *P. vannamei*. Las dietas difirieron básicamente en la fuente de proteína utilizada, en la HP se empleó harina de pescado y en la HS harina de soya.

Las diferencias ( $p < 0.05$ ) más importantes se dieron en la DAP; se encontró que la proteína contenida en la HS fue más digerible (88.2 a 89.1%) por el *P. vannamei* que la proteína de la HP (73.4 a 76.2%), estos resultados coinciden con los obtenidos por Akiyama (1991a), quien encontró que la harina de soya presenta un valor de DAP más alto (89.9%) que aquellas dietas conteniendo harinas de pescado (80.7%), camarón (74.6%) o calamar (79.7%). La DAP de la harina de soya fue más alta en un 10%, 17% y 11% con relación a las harinas de pescado, camarón y calamar respectivamente; en el presente estudio la diferencia fue del 15.6%.

La calidad de la proteína es un elemento relevante para la digestibilidad. La harina de pescado no lleva un estricto control de calidad en el proceso de elaboración; además, las temperaturas que se registran son altas como para disminuir la calidad de las proteínas. En cambio, el proceso de obtención de harina de soya es controlado y es menos drástico, con lo que puede asegurarse una mayor calidad de las proteínas. Además, un tratamiento térmico adecuado favorece la digestibilidad o disponibilidad de los componentes. A ello se atribuyen los valores más altos de DAP obtenidos a partir de la dieta HS.

Los valores de DAA obtenidos para ambas dietas confirmaron la mayor disponibilidad de la HS frente a la HP (tabla 13). Todos los aminoácidos contenidos en la HS presentaron valores de digestibilidad más altos (diferencias estadísticamente significativas,  $p < 0.05$ ) que los de HP. Los valores para HS estuvieron en el rango de 85.9% a 96.3%, mientras que para HP fue de 66.5% a 87.0%. Este mismo comportamiento fue observado por Akiyama *et al.* (1989) en *P. vannamei*; ellos encontraron una DAA en el intervalo de 85.9% a 92.2% para harina de soya y de 78.4% a 83.1% para harina de pescado.

Los aminoácidos que presentaron valores más altos en HS fueron la arginina (95.6%), metionina (95.2%) y lisina (92.2%) y en HP fueron la

metionina (88.4%), lisina (86.8%) e histidina (85.5%), valores que concuerdan con los obtenidos por Akiyama *et al.* (1989), donde la lisina (91.5%), arginina (91.4%) y ac. aspártico (92.2%) fueron los más altos en harina de soya y en harina de pescado fueron la lisina (83.1%) y la prolina (84.1%). La metionina no fue analizada en el estudio de Akiyama *et al.* (1989).

Es importante señalar que los valores de digestibilidad más altos se registraron en los aminoácidos esenciales y los valores más bajos correspondieron a los aminoácidos no esenciales para el camarón.

La harina de soya se caracteriza por contener proteínas deficientes en los aminoácidos azufrados, metionina y cistina. Esta desventaja se compensa un poco con la alta digestibilidad aparente mostrada por estos aminoácidos en el presente estudio.

Aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) en los valores de DAL, las cifras más altas correspondieron a la dieta HP (83.5% a 96.5%). Los valores obtenidos en HS estuvieron en el rango de 74.6% a 92.7%. Estas cantidades son más altas que las registradas en otros estudios como el de Smith *et al.* (1985) en *P. vannamei* (45.1% a 64.8%) y Akiyama (1991b) en *P. vannamei* (70.4%) y *P. monodon* (75.5%). Sin embargo, coinciden con los datos obtenidos por Catacutan (1991), donde el valor de DAL estuvo en el intervalo 90.0% a 92.8%. En este último trabajo se vió el efecto de diferentes niveles de carbohidratos en la digestibilidad aparente de dietas en *P. monodon* y se encontró que la DAL tiende a disminuir a medida que el nivel de carbohidrato dietario aumenta de 5% a 35%. Este mismo efecto se observó en el presente estudio, pues la HP con un contenido de 28% de carbohidratos tuvo un valor de DAL más alto que la HS con un contenido de 34.8%.

Los carbohidratos presentes en la harina de soya no son, en su mayoría, digeribles por animales monogástricos (Lim y Akiyama, 1991), lo cual se

confirmó en nuestro estudio, donde se obtuvieron valores de DAC más bajos (56.2% a 72.3%) en la dieta HS que en la HP (73.8% a 79.7%). Los carbohidratos de la dieta HP estaban constituidos por almidón gelatinizado y éstos son más digeribles que los de la soya.

La DAMS, que es la combinación de las digestibilidades aparentes de todos los materiales en las dietas, fue más alta en HS (60.7% a 74.7%) que en HP (56.7% a 65.2%). Esta respuesta se originó debido a que la diferencia más marcada en los valores de digestibilidad aparente se presentó en la proteína, correspondiéndole valores más altos a la dieta HS.

## CONCLUSIONES

Las modificaciones realizadas en el sistema Guelph, para adaptar su uso a camarones peneidos, permitieron llevar a cabo la colecta de heces sin ninguna dificultad. La corriente generada en la parte más baja del acuario, así como la adaptación de la plataforma y la colocación del camarón bajo la misma, fueron claves en el buen funcionamiento del sistema.

Los valores de digestibilidad obtenidos fueron similares para los dos sistemas de colecta de heces evaluados, lo que señala que la calidad de las heces obtenidas a partir de uno y otro sistema son iguales. No obstante, se detectaron notables diferencias entre los sistemas en base a la funcionalidad, operabilidad y eficiencia, principalmente, resultando ser más favorable el uso del SGM.

Se corroboró a la harina de soya como una fuente alternativa de proteína de gran importancia en la alimentación artificial del camarón blanco, *P. vannamei*. Su perfil de aminoácidos, su alto valor de digestibilidad; además de su bajo precio y alta accesibilidad comercial, nos permiten llegar a esta conclusión.

Cuando se compararon los coeficientes de digestibilidad aparente de proteínas y aminoácidos obtenidos a partir de las dietas HP y HS, se encontró que la HS presentó valores más altos en todos los tratamientos. Estas diferencias fueron estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ).

Las digestibilidades aparentes de carbohidratos y de materia seca fueron significativamente ( $p > 0.05$ ) más altas a 22°C que a 28°C y se encontró una interacción dieta-temperatura en el análisis estadístico de estas variables.

Las salinidades de 35‰ y 16‰, así como las temperaturas de 28 y 22°C no mostraron un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en la digestibilidad aparente de proteínas y aminoácidos en *P. vannamei*, indicando que el sistema digestivo de esta especie responde de manera similar en el rango evaluado de estos parámetros ambientales.

Estos resultados permiten tomar más en cuenta la contribución potencial de fuentes alternativas de proteína, que aún no han sido suficientemente estudiadas, como ingredientes de bajo costo en la elaboración de dietas comerciales para camarones peneidos.



## REFERENCIAS

- Akiyama, D.M., 1991a. The use of soy products and other plant protein supplements in aquaculture feeds. In: Dean M. Akiyama and Ronnie K.H. Tan (Editors). *Proceedings of the Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop* pp. 199-206
- Akiyama, D.M., 1991b. Soybean meal utilization by marine shrimp. In: Dean M. Akiyama and Ronnie K.H. Tan (Editors), *Proceedings of the Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop*. pp. 207-214.
- Akiyama, D.M., 1991c. Future considerations for the aquaculture feed industry. In: Dean M. Akiyama and Ronnie K.H. Tan (Editors), *Proceedings of the Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop*. pp. 5-9.
- Akiyama, D.M.; Coelho, S.R. and Lawrence, A.L., 1989. Apparente Digestibility of Feedstuffs by the Marine Shrimp *Penaeus vannamei* Boone. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 55 (1): 91-98.
- Akiyama, D.M.; Dominy, W.G. and Lawrence, A.L., 1991. Penaeid Shrimp Nutrition For the Commercial Feed Industry. In: Dean M. Akiyama and Ronnie K.H. Tan (Editors), *Proceedings of the Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop*. pp.80-98.

- AOAC, 1980. Official Methods for Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 13th edition. Washington, D.C.
- AOAC, 1984. Official Methods for Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 14th edition. Arlington, VA, pp 1141.
- Arrizon-Lopez, V.; Slocum, R. and Lee, P., 1987. Expanded Protein Hydrolyzate Analysis. System 6300/7300 Application Notes. Published by Spinco Division of Beckman Instruments, Inc., Palo Alto, Cal. Pp. 6.
- Ash, R., 1988. Protein Digestion and Absorption. In: C.B. Cowey, A.M. Mackie y J.G. Bell (Editors), Nutrition and Feeding in Fish. pp. 69-94.
- Boyd, C.E., 1989. Water Quality Management and Aeration in Shrimp Farming. Fisheries and Allied Aquacultures Departmental Series no. 2, Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn Station, Auburn University, Alabama.
- Buddington, R., 1980. Hydrolysis-resistant organic matter as a reference for measurement of fish digestive efficiency. Transactions of the American Fish. Soc., 109: 653-656.
- Carrillo, F.O., 1994. Producto multienzimático del hepatopáncreas de camarón reactivo y suplemento dietético. En: 2do. Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. R. Mendoza, D. Ricque y E. Cruz (editores). Monterrey, Nvo. León, México.

- Catacutan, M.R., 1991. Apparent digestibility of diets with various carbohydrate levels and the growth response of *Penaeus monodon*. *Aquaculture* 95: 89-96.
- Ceccaldi, H.J., 1987. La digestión en los crustáceos. En: *Nutrición en Acuicultura*. Volúmen 1. J. Espinosa de los Monteros y U. Labarta (editores). pp. 67-84.
- Chen, H.Y., 1993. Recent advances in nutrition of *Penaeus monodon*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 24 (2): 231-240.
- Cho, C.Y.; Slinger, S.J. and Bayley, H.S., 1982. *Comp. Biochem. Physiol.* 73B: 25-41.
- Cho, C.Y.; Cowey, C.B. and Watanabe, T., 1985. *Finfish Nutrition in Asia: Methodological Approaches to Research and Development*. IDRC, Ottawa, Ontario. pp 51-55.
- Clark, D.J.; Lawrence, A.L.; Swakon, D.H.D., 1993. Apparent chitin digestibility in penaeid shrimp. *Aquaculture* 109 (1): 51-57.
- Coll, M.J., 1991. *Acuicultura Marina Animal*. Mundi-Prensa (ediciones). Madrid, España. p. 155.
- Colvin, L.B. and Brand, C.W., 1977. The protein requirements of penaeid shrimp at various life-cycle stages in controlled environment systems. *Proc. Annu. Workshop World Maricult. Soc.*, 8: 821-840.

Davis, D.A. and Arnold, C.R., 1993. Evaluation of five carbohydrate sources for *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, 114 (3-4): 285-292.

De Silva, S.S. and Perera, M.K., 1983. Digestibility of an aquatic macrophyte by the cichlid *Etroplus suratensis* (Bloch) with observations on the relative merits of three indigenous components as markers and daily changes in protein digestibility. *J. Fish. Biol.*, **23**, 675-684.

Fenucci, J.L. and Zein-Eldin, Z.P., 1976. Evaluation of squid mantle meal as a protein source in penaeid nutrition. In: T.V.R. Pillay and Wm. A. Dill (Editors), *Advances in Aquaculture*, Fishing News (Books), Great Britain, pp. 601-605

Fenucci, J.L.; Zein-Eldin, Z.P. and Lawrence, A.L., 1980. The nutritional response of two penaeid species to various levels of squid meal in a prepared feed. *Proc. World Maricult. Soc.*, 11: 403-409.

Fowler, L.G., 1980. Substitution of soybean and cottonseed products for fish meal in diets fed to chinook and coho salmon. *Prog. Fish Cult.*, 42 (2): 87-91.

Furukawa, H. and Tsukahara, H., 1966. On the acid digestion method for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish fed. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 32(6): 502-508.

- Gibson, R., 1982. Feeding and Digestion in Decapod Crustaceans. In: G.D. Pruder, C.J. Langdon y D.E. Conklin (editores). Proceedings of the Second International Conference in Aquaculture Nutrition: Biochemical and Physiological Approaches to Shellfish Nutrition. World Mariculture Society. Special Publication. 2: 59-70.
- Hajen, W.; Beames, R.; Higgs, D. and Dosanjh, B., 1993. Digestibility of various feedstuffs by post-juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in sea water. 1. Validation of technique. *Aquaculture*, 112: 321-332.
- Hardy, R.W., 1991. Fish Hydrolysates: Production and Use in Aquaculture Feeds. In: Dean M. Akiyama y Ronnie K.H. Tan (Editors), Proceedings of the Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop. pp. 109- 114.
- Hepher, B., 1993. Nutrición de Peces Comerciales en Estanques. Grupo Noriega (editores), pp. 406.
- Hidalgo, F. and Alliot, E., 1987. La digestión en los peces. En: Nutrición en Acuicultura. Vol. 1. J. Espinosa de los Monteros y U. Labarta (editores). pp. 85-122.
- Higuera, M. de la., 1985. Fuentes de Proteína y de Energía Alternativas en Acuicultura. Trabajo presentado en el Seminario sobre Avances Tecnológicos y Necesidades en Acuicultura, organizado por ASA/Madrid. pp. 1-8.

- Hirao, S.; Yamada, J. and Kikuchi, R., 1960. On improving the efficiency of feed for fish culture 1. Transit and digestibility of diet in eel and rainbow trout observed by use of P<sup>32</sup>. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., 7: 67-72.
- INEGI, 1995. La Producción Acuícola y Pesquera en México. En: El Sector Alimentario en México. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática y Comisión Nacional de Alimentación. Aguas Calientes, AGS.
- Jones, D.B.; Hancock, J.D.; Harmon, D.L. and Walker, C.E., 1992. Effects of Exogenous Emulsifiers and Fat Sources on Nutrient Digestibility, Serum Lipids and Growth Performance in Weanling Pigs. J. Animal Sci. 70: 3473-3482.
- Ketola, H.G., 1982. Amino acid nutrition of fishes: requirements and supplementation of diets. Comp. Biochem. Physiol. 73B: 17-24.
- Kungvankij, P. and Kongkeo, H., 1988. Culture system selection. In: Shrimp '88, Conference Proceedings. INFOFISH. Kuala Lumpur, Malasya. pp. 123-126.
- Landau, M., 1992. Introduction to Aquaculture. John Wiley and Sons Inc. U.S.A. pp. 440.
- Latscha, T., 1991. Carotenoids in Aquatic Animal Nutrition. In: Dean M. Akiyama y Ronnie K.H. Tan (Editors), Proceedings of the Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop. pp. 68-79.

- Law, A.T.; Chin, K.S.S.; Ang, K.J. and Kamarudin, M.S., 1990. Digestibility of low cost ingredients in pelleted feeds by *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). Hirano, R. y Hanyu, I. (Eds.). The Second Asian Fisheries Forum. Proceedings of the Second Asian Fisheries Forum, Tokyo Japan. pp. 333-336.
- Leavitt, D., 1985. An evaluation of gravimetric and inert marker techniques to measure digestibility in the american lobster. *Aquaculture*, 47: 131-142.
- Lee, D.O'C. and Wickins, J.F., 1992. Review of world crustacean markets. In: Lee y Wickins (Eds.), *Crustacean Farming*. pp. 28-44.
- Leger, C., 1988. Digestion, Absorption and Transport of Lipids. In: C.B. Cowey, A.M. Mackie and J.G. Bell (Eds.), *Nutrition and Feeding in Fish*. pp. 299-331.
- Le Moullac, G.; Wormhoudt, A.V. and AQUACOP, 1994. Adaptation of digestive enzymes to dietary protein, carbohydrate and fibre levels and influence of protein and carbohydrate quality in *Penaeus vannamei* larvae (Crustacea, Decapoda). *Aquat. Living. Resour.* 7, 203-210.
- Lester, L.J. and Pante, M.J.R., 1992. Penaeid Temperature and Salinity Responses. In: *Marine Shrimp Culture: Principles and Practices*. Arlo W. Fast and L. James Lester, editors. Elsevier Science Publishers B.V. Pp. 515-534.
- Liener, I.E., 1976. Legume toxins in relation to protein digestibility-A review. *Journal of Food Science* 41, 1076-1081.

- Lim, C and Akiyama, D.M., 1991. Full-fat soybean meal utilization by fish. In: Dean M. Akiyama and Ronnie K.H. Tan (Editors), Proceedings of the Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop. pp 188-198.
- Lim, C. and Dominy, W., 1990. Evaluation of Soybean Meal as a Replacement for Marine Animal Protein in Diets for Shrimp (*Penaeus vannamei*). Aquaculture. 87, 53-63.
- Lim, C. and Persyn, A., 1989. Practical feeding-penaeid shrimps. In: Van Nostrand Reinhold (De.), Nutrition and Feeding of Fish. New York, N.Y. pp. 205-222.
- Lovell, T., 1989. Digestion and metabolism. In: Nutrition and Feeding of Fish, R. Van Nostrand De., AVI Book, N.Y. Pp. 73-92.
- Lovell, R.T., 1991a. Use of soybean products in diets for aquaculture species: revised. In: Dean M. Akiyama y Ronnie K.H. Tan (Editors), Proceedings of the Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop. pp 173-187.
- Lovell, R.T., 1991b. Foods from Aquaculture. A Scientific Status Summary by the Institute of Food Technologists' Expert Panel on Food Safety and Nutrition. Food Technology. September, 1991.
- Martínez-Palacios, C.A., 1988. Digestibility Studies in Juveniles of the Mexican Cichlid, *Cichlasoma urophthalmus* (Günther). Aquaculture and Fisheries Management. 19, 347-354.



- Mainard, L.A. and Loosli, J.K., 1962. Animal Nutrition, Sixth Edition, Mc Graw Hill Book Co., New York, 553 pp.
- Mainard, L.A. and Loosli, J.K., 1969. Animal Nutrition. Mc Graw Hill Book Co., New York, 613 pp.
- Moriarty, D.J.W. and Moriarty, C.M., 1973. The assimilation of carbon from phytoplankton by two herbivorous cichlid fishes: *Tilapia nilotica* and *Hoplochromis nigripinnis*. J. Zool. (London). 171: 41-45.
- National Research Council (NRC), 1983. Nutrient Requirements of Warmwater Fishes and Shellfishes. National Academy Press. Washington, D.C. USA.
- National Research Council (NRC), 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press. Washington, D.C. pp. 43-48.
- Nose, T., 1960. Bulletin Freshwater Fish. Res. Lab. 10: 23-28.
- Olvera, N.M.A.; Martínez, P.C.A. y Real de León, E., 1993. Cuantificación de óxido de cromo en heces y alimentos. En: Manual de Técnicas para Laboratorio de Nutrición de Peces y Crustáceos. FAO-Italia, pp 58-60
- Ponce-Palafox, J.T; Martínez-Palacios, C.A. and Ross, L.G., In Press. The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931.

- Parsons, T.R.; Maita, Y. and Lalli, C.M., 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, Oxford, New York, Seoul, Tokyo. Pp.173.
- Penaflores, V.D., 1989. An evaluation of indigenous protein sources as potential component in the diet formulation for tiger prawn, *Penaeus monodon*, using essential amino acid index (EAAI). Aquaculture. 83 (3-4): 319-330.
- Pustai, A., 1985. Constraints on the Nutritional Utilization of Plant Proteins. Commonwealth Agricultural Bureaux, 1985. Nutrition Abstracts and Reviews (series B). Vol. 55 No. 7 pp. 363-369.
- Riaza, A., 1986. Comparación de métodos para estimar la digestibilidad en la lubina, *Dicentrarchus labrax*. DEA, UBO, Brest, Francia. 55 pp.
- Rosenberry, B., 1994. Shrimp News International. Aquaculture Digest. San Diego, Cal. pp. 19-20.
- Sarac, Z.; Thaggard, H.; Saunders, J.; Gravel, M.; Neill, A. and Cowan, R.T., 1993. Observations on the chemical composition of some commercial prawn feeds and associated growth responses in *Penaeus monodon*. Aquaculture. 115 (1-2): 97- 110.
- SAS, 1984. Statistical Analysis System Institute, Inc., Cary, N.C.: In SAS User's Guide.

- SEMARNAP, 1995. Producción anual de productos pesqueros en el estado de Sinaloa. Depto. de Informática. Delegación Federal de Pesca del Estado de Sinaloa. Mazatlán, Sinaloa.
- Shen, X.; Liu, Y., 1993. The study of protein, fat and starch digestibilities of prawn (*Penaeus orientalis*). Collect. Ocean. Works Haiyang Wenji. 16 (1): 76-82.
- Shiau, S.Y.; Lin, K.P. and Chiou, C.L., 1992. Digestibility of different protein sources by *Penaeus monodon* raised in brackish water and in sea water. J. Appl. Aquacult. 1 (3): 47-54.
- Sick, L.V. and Andrews, J.W., 1973. The effect of selected dietary lipids, carbohydrates and proteins on the growth, survival and body composition of *P. duorarum*. Proc. Annu. Workshop World Maricult. Soc., 4: 263-276.
- Smith, L., 1989. Digestive functions in teleost fishes. In: Fish Nutrition, 2nd Edition, Halver J.E. Ed., Academic Press, San Diego. Pp. 331-421.
- 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.
- Spyridakis, P.; Metailler, R.; Gabaudan, J. and Riaza, A., 1988. Studies on nutrient digestibility in european sea bass (*Dicentrarchus labrax*). 1.- Methodological aspects concerning the faeces collection. Aquaculture, 77: 61-70.

- Tacon, A.G.J. and Rodrigues, A.M.P., 1984. Comparison of chromic oxide, crude fibre, polyethylene and acid-insoluble ash as dietary markers for the estimation of apparent digestibility coefficients in rainbow trout. *Aquaculture*, **43**, 391-399.
- Talbot, C. and Higgins, P., 1983. A radiographic method for feeding studies on fish using metallic powder as a marker. *J. Fish. Biol.*, **23**: 211-220.
- Teshima, S.I. and Kanazawa, A., 1983. Digestibility of Dietary Lipids in the Prawn. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* **49** (6): 963-966.
- Tsai, I.H.; Chuang, K.L. and Chuang, J.L., 1986. Chymotrypsins in digestive tracts of crustaceans decapods (shrimps). *Comp. Biochem. Physiol.* **85B** (1): 235-239.
- Viola, S.; Mokady, S. and Arieli, Y., 1983. Effects of soybean processing methods on growth of carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*. **32**: 27-38.
- Vohra, P. and Kratzer, F.H., 1991. Evaluation of soybean meal determines adequacy of heat treatment. In: *Feedstuffs*, vol. 63, no. 8.
- Windell, J.T.; Foltz, J.W. and Sarokon, J.A., 1978. Methods of fecal collection and nutrient leaching in digestibility studies. *Prog. Fish-Cult.* **40**(2), pp 51-55.