

Utilización de Subproductos Avícolas en las Dietas para Organismos Acuáticos

Roberto Mendoza, Carlos Aguilera y Jesús Montemayor

Universidad Autónoma de Nuevo León, Apartado F-96, San Nicolás de los Garza,
Nuevo León, CP 66450, México

Introducción

El incremento en el costo del alimento en años recientes ha renovado el interés en la utilización de fuentes alternativas de proteínas en el caso de los cultivos de organismos acuáticos (Robinson, 1990) y al parecer la tendencia de la investigación en lo referente a la disminución del precio de los alimentos para organismos acuáticos va a prevalecer sobre la prioridad actual: el aumento de la productividad (Lovell, 1991).

Por otro lado la demanda actual de alimentos balanceados para satisfacer esta producción es de 4.3 millones de toneladas y se estima que para el siguiente siglo sea de 14 millones de toneladas (Sanders, 1992), lo que ha creado, sin lugar a dudas, un mercado muy prometedor para la industria de los alimentos acuícolas (Kiang, 1990). Sin embargo, uno de los puntos cruciales en la nutrición de los organismos acuáticos es la utilización de harina de pescado en las dietas formuladas para estos y la reflexión de que la harina de pescado es un recurso finito.

Necesidad de Sustitución de la Harina de Pescado en las Dietas para Organismos Acuáticos

Calidad Nutricional

La harina de pescado es una fuente de proteína considerada de calidad superior, por lo que regularmente forma parte de las dietas de salmónidos y peneidos, esto se debe a su alta palatabilidad y por que regularmente contiene altos niveles de energía y proteína digestibles. Además, tiene excelentes niveles de aminoácidos esenciales disponibles para cubrir los requerimientos de varias especies de peces y crustáceos (Webster & Tidwell, 1992; Hardy, 1998). Por otra parte contiene factores de crecimiento no identificados y nutrientes esenciales tales como selenio (Rumsey, 1993). Esto hace de la harina de pescado la fuente de proteína por excelencia en dietas para organismos acuáticos, inclusive para aquellos que son omnívoros. De aquí que dos tercios de la proteína en las dietas para acuicultura provengan de la harina de pescado (McCoy, 1990).

Por las razones anteriores se considera que no hay límite para la utilización de las harinas de pescado en los alimentos comerciales salvo el precio (Akiyama *et al.*, 1991).

Crecimiento del Sector Acuícola

La acuicultura se ha convertido en uno de los segmentos con mayor crecimiento en el mercado mundial de alimentos principalmente debido a la necesidad de un suministro de productos de calidad constante y la oportunidad de atractivos rendimientos en este sector (Lovell, 1992). Durante la última década se estima que la producción mundial por acuicultura aumentó 177% entre 1984 y 1995 (New, 1997), y a medida que esta industria crezca se espera una mayor demanda de alimentos para los organismos acuáticos (Ratafia, 1995).

Históricamente la harina de pescado ha sido la fuente de proteína más utilizada, a pesar de su costo. Sin embargo con el crecimiento de la acuicultura, se espera que aumente la demanda de harina de pescado y consecuentemente su precio (Sudaryono *et al.*, 1995).

Porcentaje de Harina de Pescado Incluido en las Dietas

El crecimiento de los organismos acuáticos depende en gran medida del contenido de proteína presente en la dieta, por lo que actualmente, la investigación relativa a las fuentes proteicas para dietas destinadas a los organismos cultivados y su porcentaje de inclusión ha recibido más atención que cualquier otro nutriente debido al alto costo de este componente en la dieta (Manikk *et al.*, 1977). En volumen, tanto la harina de pescado como el aceite constituyen del 30 al 70% de los alimentos formulados para la mayoría de las especies carnívoras cultivadas (Rumsey 1993; Tacon & Jackson, 1985; Tacon, 1996).

Porcentaje de los Costos de Operación

El alimento y la alimentación, incluyendo la fertilización, representan a menudo los mayores costos de operación, (40-60%) dentro de los costos variables de producción en el cultivo de salmónidos (Anderson *et al.*, 1997) y 50% en el caso de los peneidos (Lawrence & Lee, 1997). Por lo cual resulta necesario enfocar la atención en el desarrollo de la investigación y estrategias de manejo dirigidas a reducir estos costos (Tacon, 1996). Este aspecto es decisivo al considerar el precio de los ingredientes proteicos ya que son los más onerosos en las dietas para animales (Lyons, 1992).

Considerando lo anterior, existe un progresivo interés tanto de la industria de los alimentos como de los acuicultores para tratar de disminuir el costo del alimento, y por ello, se han venido formulando objetivos en torno a la identificación de nuevas fuentes de proteína, certificación de su valor nutricional e innovación de métodos para su transformación. Esto deberá repercutir en la disminución de los niveles de harina de pescado en los alimentos acuícolas mediante la sustitución, aunque sólo en forma parcial, por las fuentes de proteína alternativas (De la Higuera, 1985).

Consumo de Harina de Pescado por el Sector Acuícola

New (1996) estimó que en 1995 las operaciones acuícolas consumían aproximadamente 15% de la harina de pescado producida en el mundo, indicando además que este consumo se incrementaría en un 50% en 1988. Este aspecto ha propiciado que diferentes grupos ambientalistas cuestionen la sustentabilidad de la acuicultura, basados en la percepción de que por cada kilogramo de peces producidos por acuicultura se requiere de la captura de 4 o más kilos de pescado para producir harina destinada al alimento (De la Higuera, 1985; Hardy, 1997).

Otro aspecto relevante es el hecho de que 60% de esta harina de pescado sea utilizada en los alimentos de camarones y salmónidos, cuando la producción de estos organismos solo representa del 12 al 12.5% de la acuicultura mundial (Rumsey, 1993; Tacon, 1984). Y aunque es cierto que la mayor parte de los organismos producidos son especies que requieren poca o no requieren harina de pescado (los peces omnívoros/herbívoros son el principal producto de la acuicultura de peces - 85%- Tacon, 1984), se considera que si la tendencia actual continua, la demanda de harina de pescado utilizada en las dietas para organismos acuáticos seguirá en aumento (Rumsey, 1993). Ante esta perspectiva, las proyecciones indican que existirá una disminución en la utilización de harina de pescado en los próximos 15 años para cubrir la demanda de las operaciones acuícolas (Rumsey, 1993; Hardy, 1998). No obstante, recientemente se ha señalado que habrá suficiente harina de pescado para el año 2000 para cubrir la demanda anticipada de la industria de la acuicultura (Barlow, 1997).

Estado de las Capturas

El examen de la producción por acuicultura, incluyendo peces, camarones y moluscos, indican que esa industria se ha expandido consistentemente desde 1985, mientras que las capturas silvestres se encuentran sobre-explotadas a nivel del máximo rendimiento sostenible (Ratafia, 1995; New, 1997), y se calcula que no aumentarán en más de 60 millones de toneladas para el 2000 y años posteriores (New, 1997). Por otra parte, las capturas de pescado, a nivel mundial, que se utilizan regularmente para producir harina, aunque aumentaron de manera sostenida de los 60's a los 80's, se han mantenido constantes en aproximadamente 30 millones de toneladas métricas desde entonces (Rumsey, 1993; Hardy, 1997), por lo que no se espera que aumenten los suministros de este ingrediente (Chamberlain, 1995).

Otras de las causas del estancamiento y descenso de las capturas son los ciclos naturales de estas, fenómenos ambientales como el del Niño (Barlow & Pike, 1992) y la contaminación (Lawrence & Lee, 1997). Accesoriamente, a pesar de que la producción por acuicultura en 1996 fue de más de 25 millones de toneladas métricas (Lawrence & Lee, 1997) es un hecho que los productos derivados de este sector prácticamente no son utilizados para la producción de aceite y harina de pescado (New, 1997).

Competencia por la Harina de Pescado con otras Industrias

En el futuro próximo la acuicultura deberá competir con otras industrias que elaboran alimento para especies diferentes (New & Csavas, 1995; Tacon, 1996), como el alimento para mascotas y para ganado, por lo que además será necesario considerar que el margen de ganancias es mayor para el alimento para mascotas (Rumsey, 1993).

Adicionalmente un factor determinante que podría romper este balance es la creciente demanda mundial, principalmente en los países en vías de desarrollo, de alimentos nutricionalmente sanos, y el reconocimiento de que los productos pesqueros, incluyendo los aceites de pescado, debe jugar un papel clave en la dieta del hombre moderno (Rumsey, 1993; Ratafia, 1995; Tacon, 1996; Barlow, 1997; Higgs *et al.*, 1997; Hardy, 1997). Esto, sin duda, originará el aumento del precio en el mercado de estos productos.

Otros Factores

Un aspecto que actualmente juega un papel determinante es el colapso de la economía internacional, esto ya ha tenido repercusiones en varios países de Asia y América Latina, regiones en donde se localiza la mayor producción por acuicultura y en donde el crecimiento de este sector es el más rápido. Esto ha originado que los ingredientes importados sean menos accesibles para los productores de alimentos, causando la cancelación de contratos, y resultando en una menor demanda de estos ingredientes (Hardy, 1998). En efecto la demanda ha propiciado el desarrollo de harinas de calidad especial (Barlow, 1997), lo cual es una limitante para su adquisición para los países en vías de desarrollo, debido al reducido valor de su moneda (New & Csavas, 1995). En contraste, en otros países como la India, la harina de pescado de buena calidad es exportada, quedando únicamente la harina de pescado de baja calidad para utilización local. A este respecto cabe mencionar que en la actualidad las harinas de pescado cuestan alrededor de 500 USD/ton y el precio de las harinas de pescado de mayor calidad se estima en 700 USD/ton (Stickney *et al.*, 1996). A esto cabe agregar que los cambios recientes en los precios de estos insumos representan un serio reto a la industria de la acuicultura (Lovell, 1996), lo que es crucial si se considera que los precios de la harina de pescado están más sujetos a la ley de oferta-demanda más que ninguna otra fuente proteica (Rumsey, 1993), así como a las fluctuaciones en el precio de las harinas sujetas a los precios de sus competidores (*e.g.* soya) (Barlow & Pike, 1992).

Por esta razón la producción de especies carnívoras de camarones y salmónidos continuará siendo rentable solo para aquellos países con fácil acceso a los recursos pesqueros o créditos internacionales, y esto será posible mientras los stocks sean abundantes y los precios permanezcan dentro de límites competitivos (Tacon, 1996).

Necesidad de Fuentes Alternativas

De aquí se desprende que el aumento de la materia prima y consecuentemente de los costos de operación, en conjunto con los precios estáticos o en disminución de las muchas de las especies cultivadas, particularmente de las especies carnívoras, significará que los acuicultores deberán reducir los costos de producción para mantener la rentabilidad de los cultivos (Tacon, 1996). Esto ya ha originado una necesidad urgente de reducir la dependencia casi total de la industria acuícola, de este ingrediente finito y de alto costo, cuyo suministro y precio son inciertos en el futuro (Tacon, 1984). Como consecuencia para que los sistemas intensivos sean sostenibles a largo plazo será esencial que se disponga de fuentes alternativas proteína (Chamberlain, 1995).

Idealmente estas fuentes deberán estar fácilmente disponibles, ser económicamente accesibles y tener una calidad nutricional satisfactoria (D'abramo & Lovell, 1991; O'Sullivan & Watson, 1991). Preferentemente las dietas deberán ser formuladas con ingredientes locales para hacer la formulación más fácil y lograr mantener bajos costos de producción (Rajyalakshmi *et al.*, 1986, In: Sudaryono *et al.*, 1995). En particular se espera un mayor interés en los subproductos de las especies terrestres que tradicionalmente han venido siendo utilizados en la formulación de dietas para otras especies (Hardy, 1998).

Marco Ambiental de la Acuicultura Y Sustentabilidad

El reto más importante que actualmente enfrenta la acuicultura es la necesidad de asegurar su sustentabilidad a largo plazo (Pillay, 1996), y una de las vías para lograr esto es considerar la premisa de que en la naturaleza nada se desperdicia; los subproductos o desperdicios de un organismo son aprovechados naturalmente como fuente nutricional para otro. Este proceso de reciclamiento de nutrientes es el fundamento para la sustentabilidad de nuestro planeta.

En base a esto ha venido surgiendo una aproximación de ingeniería ambiental que implica la utilización de subproductos que no son adecuados para la nutrición humana, lo que no solo significa mayor rentabilidad, sino también una disminución en el impacto sobre el ambiente (Adler *et al.*, 1996; Hopkins, 1996). Este concepto de reciclamiento se puede conjugar en particular con los sistemas semi-intensivos de producción, ya que son menos dependientes de materias primas onerosas (e.g. harina de pescado), lo que facilita la utilización máxima de recursos agrícolas localmente disponibles, disminuyendo así los costos de producción. Por otra parte son menos susceptibles a problemas de enfermedades, son productores netos de proteína y se consideran más eficientes energéticamente que los sistemas intensivos de producción (Tacon, 1996).

En la actualidad la utilización de subproductos contribuye a solventar tres problemas principales tanto de orden económico como ecológico:

*La reducción del costo del alimento balanceado para la acuicultura considerando que es factible introducir fuentes proteicas de calidad adecuada y bajo costo (Kearns, 1990).

*La reducción de los grandes volúmenes de desechos orgánicos derivados de diferentes industrias y en particular de la avícola, lo que contribuye a la disminución del costo ambiental que causan tanto la acumulación como la quema de desperdicios (Woodrooffe, 1993).

*La reducción de los gastos de transporte de los subproductos hacia los rellenos sanitarios (Gill, 1989).

En la actualidad existen 6 métodos básicos para deshacerse de los subproductos (Harvey, 1992; Tadiyanant *et al.*, 1993):

- ◆ Enterramiento
- ◆ Pozos de eliminación
- ◆ Incineración
- ◆ Plantas de transformación secundaria
- ◆ Rellenos sanitarios
- ◆ Composta

Varios de estos métodos tienen requerimientos operacionales y regulatorios particulares o características económicas que fomentan o limitan su utilización tanto en las granjas particulares como en las operaciones comerciales. A este respecto cabe mencionar que en muchos rellenos sanitarios se rechazan este tipo de subproductos, las industrias de segunda transformación también los rechazan debido a su dificultad para transportarlos por su gran contenido de humedad. La incineración, no obstante haber sido explorada como medio de eliminación, es económicamente prohibitiva (Geddes, 1991; Pope, 1991; Miller, 1984; Steffens, 1994). Adicionalmente, la eliminación implica diversos problemas tales como malos olores, proliferación de insectos y condiciones de mala sanidad (Vandepopuliere *et al.*, 1976).

Dentro de los métodos de eliminación el reciclamiento es tan rápido como la utilización de rellenos sanitarios y a pesar de ser la alternativa más onerosa resulta rápidamente amortizable e incluso atractiva desde el punto de vista económico debido a la gran cantidad de nutrientes que se pueden encontrar en estos residuos, particularmente en lo que se refiere al componente proteico (Harvey, 1992).

Potencial de los Subproductos Avícolas

La alta calidad de la harina de pescado hace difícil encontrar una sustitución adecuada, sin embargo aunque sea de forma parcial existe la posibilidad de poder disminuir los niveles de harina de pescado mediante la inclusión de otras fuentes proteicas debidamente complementadas para cubrir los requerimientos en aminoácidos esenciales (De la Higuera, 1985).

En México una gran variedad de materia prima procedente de los rastros y de los desperdicios de las cosechas esta ampliamente disponible. Muchos de estos ingredientes son ricos en proteínas tanto cuantitativamente como cualitativamente y con excepción de algunos cuantos, estos ingredientes no se utilizan a nivel nacional para propósitos de producción. En el presente, no existe prácticamente información acerca de la viabilidad de este tipo de ingredientes, por ejemplo los subproductos avícolas, como fuente proteica para dietas destinadas para los organismos acuáticos. Estos ingredientes a menudo valiosos desde el punto de vista nutricional no son adecuados para la producción comercial de alimentos sin embargo resultan ideales para la elaboración de dietas hechas en las zonas de producción acuícola (New & Csavas , 1995).

Los subproductos avícolas son productos recuperados de los rastros a partir de porciones no comestibles de pollos, en general al referirse a estos subproductos se excluye la pluma (Dong *et al.*, 1993) y en ocasiones no consideran ni las vísceras ni las plumas (Hardy In: Halver, 1989)

Primeramente cabe señalar que en la mayor parte de los países no existen estadísticas precisas con relación a la recuperación de subproductos avícolas, esto se debe a diversos factores entre los que se encuentran los siguientes:

- ◆ Densidad de la producción regional
- ◆ Implantación y dimensiones de los rastros
- ◆ Existencia de unidades de tratamiento de subproductos anexas a los rastros
- ◆ Existencia de industrias de segunda transformación
- ◆ Status del mercado regional de subproductos

Según ciertos productores, un límite de 80,000 aves sacrificadas por semana sería necesario para que fuera redituable una colecta y valorización de estos subproductos (Menassa, 1982).

Si se consideran a estos subproductos como desechos, lo cual es el caso actualmente en gran parte de esta industria, se genera un grave problema de eliminación (*c.f. Marco Ambiental*). Para ejemplificar la dimensión de esto se puede mencionar que en nuestro país se hacen matanzas semanales de 15 millones de aves/semana para el consumo humano (Dra. Gladys Hoyos, compañía APLYGEN, *comunicación personal*), lo cual representa un

volumen aproximado de 30 mil toneladas y sus desperdicios comúnmente sobrepasan 9 mil toneladas, tomando en cuenta que un tercio de del peso de las gallinas es considerado no comestible (*i.e* cabezas, patas, sangre, plumas y vísceras)(Brunton, 1991). Y tan solo en el área metropolitana de Monterrey se realizan matanzas de 35 mil a 55 mil pollos al día - 12 a 20 millones/año (Moreno, G.M., AVIMSA y Empacadora AYVI, *com. pers.*).

Comparativamente cabe mencionar que en los E.U. 110 millones de pollos son sacrificados semanalmente, lo que significa una cantidad próxima a los 5,700 millones/año (Reynells, 1991; Pope, 1991; Brunton, 1992; Harvey, 1992), sin contar pavos (242 millones) y patos (31 millones). Esto representa el 25% de las matanzas a nivel mundial. Los subproductos derivados de estas matanzas (vísceras, cabezas patas y plumas), representan un volumen de 25 mil toneladas de materia seca (1,300,000 toneladas/año), sin incluir a pollos muertos (mortalidades y desperdicios de incubadoras).

Si estos subproductos fueran debidamente aprovechados como fuente de nutrientes se podría disponer de una producción semanal de:

	Vísceras (m ³)	Sangre (m ³)	Pluma (m ³)
Proteína cruda	5,500	2,000	8,000
LYS	475	180	175
MET	150	25	50
CYS	130	25	605
ARG	620	90	570
HIS	175	130	55
TRE	335	90	410
TYR	80	35	60

Adicionalmente, se producen 106,000 toneladas de desperdicio de incubadora por año y en la producción de pollos se registran otras más, entre 8.8 millones y 16 millones de toneladas de material fecal en base seca. Dentro de estos subproductos no se cuentan pollitos, pavos y patos (Brunton, 1992; Pope, 1991).

De lo anterior se puede inferir que a medida que el volumen de estos desperdicios siga creciendo, su eliminación en basureros o en rellenos sanitarios se volverá más limitada y cara.

Utilización de los Subproductos Avícolas

Son varios los factores que han propiciado que una gran parte de la industria de los alimentos revalorizara recientemente la utilización de subproductos de aves. Entre otros se pueden contar:

- ◆ La incidencia de la enfermedad de la "*vaca loca*" (Encefalitis bovina espongiforme) (Hardy, 1998).
- ◆ El conocimiento de que los subproductos animales tienen un mayor valor nutricional en las dietas para organismos acuáticos, que el que se había considerado anteriormente (Bureau, 1996). (*c.f. Digestibilidad*)
- ◆ Su gran disponibilidad y alto contenido de proteína cruda. Adicionalmente, la incorporación de estos ingredientes permite la incorporación de grandes cantidades de

energía en las formulaciones con lo que se logra mantener un nivel adecuado de proteína. (McCasland, 1965).

- ♦ Una ventaja es que el cultivo de aves se lleva a cabo en áreas concentradas y esta concentración permite una conversión eficiente de subproductos en dietas para animales (Jauncey & Ross 1982).

Miscelánea de Subproductos Avícolas

Dentro de la gran variedad de fuentes de proteína utilizadas hasta el momento no se le ha conferido suficiente atención a los subproductos de la industria avícola. Sin embargo, una de las soluciones a corto plazo a los problemas mencionados se encuentra en el amplia gama de subproductos generados por esta industria.

A continuación se presenta un breve listado de subproductos avícolas tradicionalmente utilizados en la nutrición animal con uso potencial en la acuicultura.

- ♦ Harina de pluma hidrolizada por cocción
- ♦ Harina de pluma hidrolizada enzimáticamente
- ♦ Gallinas enteras molidas
- ♦ Harina de vísceras
- ♦ Residuos de incubadora (pollitos no vendibles provenientes del sexado y selección, huevos infértiles, huevos no eclosionados o rotos, cascara de huevo)
- ♦ Gallinas improproductivas
- ♦ Gallinas muertas (“mortalidades”) o descartadas de la producción, (gallinas con características inferiores, lisiadas, lastimadas o deformes que se retiran durante la fase de crecimiento)

(Vandepopuliere *et al.* 1976; Tellez, 1982; Gill, 1989; Haque, *et al.*, 1991; Harvey, 1992; Tadiyanant, *et al.* 1993).

Basándose en lo anterior se puede considerar que existe una gran variedad de subproductos avícolas que pueden ser utilizados como nutrientes para los alimentos destinados a las especies acuáticas

Características Atractantes y Palatables de los Subproductos

Una de las características más apreciadas de la harina de pescado es su poder attractante y su palatabilidad, lo que garantiza en gran medida el consumo de los alimentos formulados (Akiyama *et al.*, 1991; Hardy, 1991; Davis *et al.*, 1995; Higgs *et al.*, 1995). Este aspecto ha sido una limitante al tratar de incluir diversos subproductos agrícolas. Así, a pesar de la gran utilización de harinas de oleaginosas y otras fuentes vegetales para sustituir a la harina de pescado en las dietas para peces y crustáceos, en ocasiones llegando a sustituciones de hasta el 100%, son varios los autores que han reportado problemas relacionados con la palatabilidad de estas fuentes (principalmente en el caso de salmónidos y peneidos), siendo la única alternativa la adición de sustancias attractantes (Higgs *et al.*, 1995 In: Hardy, 1997; Stickney *et al.*, 1996; Arndt, 1994 In: Hardy, 1997; Fowler, 1980 In: Hardy, 1997; Davis, *et al.*,

1995; Reigh and Ellis, 1992; Spinelli *et al.*, 1979; Higgs *et al.*, 1995; Lim & Dominy, 1989; Pongmaneerat & Watanabe, 1993; El-Sayed, 1994).

Ante esta situación la alternativa ha sido la adición de moléculas sintéticas o atrayentes comerciales como estimulantes alimenticios (Higgs *et al.*, 1995 In: Hardy, 1997; Stickney *et al.*, 1996; Mendoza *et al.*, 1997). Sin embargo, la utilización de estos compuestos tiende a limitarse ya que su empleo resulta oneroso.

Dentro de este contexto, uno de los aspectos que vale la pena destacar en el caso de los ingredientes proteicos de subproductos animales, en adición a su precio atractivo y perfiles de aminoácidos interesantes, es que suelen ser más palatables que los ingredientes proteicos vegetales (Bureau, 1996; Higgs *et al.*, 1979; Markert *et al.*, 1977; Nambi *et al.*, 1992). Y aunque en ocasiones se ha argumentado que no se aprecia un mejor consumo con la inclusión de los subproductos avícolas, se cree que esto es debido a la adición de altas cantidades de aceite de pescado, lo que conlleva a un exceso de energía digestible resultando en una menor ingestión (Fowler, 1991).

Existen estudios en los que se han utilizado subproductos avícolas exclusivamente como atrayentes. A este respecto Mendoza *et al.* (1998a) demostraron el potencial atrayente de hidrolizados de pluma en camarones penéidos (*P. vannamei* y *P. stylostris*). Recientemente, Middleton *et al.* (1998) compararon ensilados de mortalidades de aves con y sin adición de betaína (150 mg betaína/100 g) contra harina de menhaden como carnadas para jaiba azul (*Callinectes sapidus*). No encontrándose diferencias significativas y la adición de betaína no tuvo efecto. Igualmente diseñaron una carnada eficaz para el cangrejo de río (*Procambarus clarkii*) a base de desperdicios de camote y ensilados de mortalidades de pollo (60:40 w/w).

Harina de Pluma

Dentro de las posibilidades de reciclamiento de los subproductos avícolas los diferentes residuos pueden ser aprovechados separadamente. Así, se realizan por un lado extracciones de lípidos, vísceras, cabezas y patas las cuales proveen grasa y proteína (que será convertida en harina) con un mercado atractivo. Por otro lado se aprovecha la sangre para producir harina y las "mortalidades" (aves muertas) que pueden ser también procesadas. La única limitante para el procesamiento de las mortalidades es la pluma, por lo cual se requiere aumentar demasiado la temperatura en detrimento del aprovechamiento del resto del animal.

Características nutricionales de la harina de pluma

De manera general, la pluma cruda a pesar de su alto contenido de proteína es pobremente digerida. Esto es debido a la queratina la cual es su principal constituyente proteico. Se ha estimado que aproximadamente de 85 a 90% de la proteína de la pluma proviene de la queratina (Moran *et al.*, 1966). Esta proteína pertenece al grupo de las escleroproteínas, las cuales son insolubles en agua fría, aún en presencia de ácidos o bases diluidas, y se muestran resistentes a la hidrólisis de las proteasas. Su resistencia la deben a la riqueza en cisteína (8.8% de la proteína) la cual le confiere, después de la formación de puentes inter e intra- catenarios de tipo covalente (puentes disulfuro), una estructura terciaria en forma de hélices entrelazadas (-hélices) (Menassa, 1982). Sin embargo, cuando la pluma es adecuadamente hidrolizada, el material contiene aproximadamente 85% de proteína de la cual 80% es digestible (McCasland, 1965). Por otra parte es difícil definir la calidad de la pluma mediante un simple análisis de proteína cruda ya que no es posible distinguir entre la

pluma cruda y la hidrolizada. Uno de los métodos para conocer la cantidad de pluma cruda presente en una mezcla de alimentos es la microscopía.

Se ha considerado que las harinas de pluma son una fuente concentrada de proteínas que pueden servir para aumentar el valor nutritivo y la densidad energética, mejorando la eficiencia alimenticia al mismo tiempo que reducen el volumen de la ración (Menassa, 1982).

Factor de crecimiento

Se ha reportado un efecto estimulante del crecimiento en aves debido a un factor de crecimiento no identificado. A este respecto varios autores (Fuller, 1956; Menge *et al.*, 1956; In: McCasland, 1965; Naber & Morgan, 1956; Stephens *et al.*, 1959) han reportado que tanto la harina de pluma como la ceniza de harina de pluma exhibía la presencia de este factor. Se postuló la posibilidad de que dicho factor de crecimiento fuera Zinc. En efecto, la harina de pluma contiene alrededor de 100 ppm de zinc, sin embargo se demostró que mientras la harina de pluma promovía el crecimiento el zinc no tenía ningún efecto (Sibbald *et al.*, 1962). Por otra parte, Lillie *et al.*, 1956) encontraron que las propiedades estimulantes de crecimiento no podían ser atribuidas al contenido de proteína.

Además de la presencia de factores de crecimiento desconocidos la pluma contiene cantidades apreciables de riboflavina, niacina, ácido pantoténico y vitamina B12 (Wisman *et al.*, 1958).

Considerando sus características nutricionales, su reducido costo (la harina de pluma solo cuesta aproximadamente dos tercios del costo de otras proteínas animales) y su disponibilidad en gran cantidad, la inclusión de esta fuente de proteína en dietas comerciales contribuiría a una reducción significativa del precio de producción, permitiendo al mismo tiempo la utilización de un subproducto abundante (Bishop *et al.*, 1995).

Excremento

Debido a su alto contenido de nitrógeno la gallinaza se aplica solo moderadamente en tierras agrícolas, ya que contribuye al aumento de los niveles de nitritos en el agua subyacente, y preferentemente se inyecta bajo el suelo para evitar los malos olores y la proliferación de insectos (Anderson, 1978). Sin embargo, en el sector de la acuicultura ha sido ampliamente utilizada para fomentar la floración fitoplanctónica en los estanques de producción, lo cual es un aspecto de sumo interés ya que varias investigaciones han demostrado la importancia de la productividad en la dieta de los penéidos, de hecho más del 50% del carbón encontrado en los tejidos de los animales cosechados proviene de la productividad primaria y no de los alimentos (Jory, 1995; 1998). De esta manera el excremento actúa principalmente a través de la cadena alimenticia heterotrófica proveyendo materia orgánica y detritus al ecosistema del estanque, sirviendo principalmente como substrato para el crecimiento de bacterias y protozoarios, que a su vez sirven como fuente de proteína para otros animales, incluyendo los peces y camarones.

Igualmente, en referencia a lo anterior, cabe hacer notar que en los sistemas semi-intensivos de producción los excrementos de animales son comúnmente utilizados, para controlar la eutroficación y aumentar la producción de presas vivas, las cuales son utilizadas como alimento suplementario. Un ejemplo de esta práctica son los cultivos realizados en China y la India, los mayores productores de organismos por acuicultura.

A continuación (Tabla 2) se ilustran algunas de las ventajas e inconvenientes de la utilización de materia fecal como fertilizante.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Un menor ciclo de producción que los fertilizantes inorgánicos ya que el zooplancton se puede alimentar directamente de la materia orgánica, lo que acorta la cadena alimenticia 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Grandes variaciones dentro del mismo tipo de excremento, composición dependiente del tipo de animal, tiempo que tenga el excremento, exposición del mismo.
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Ayudan en el acondicionamiento del fondo de los estanques, beneficiando la formación de bentos 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Aunque generalmente baratos y altamente disponibles, en ocasiones pueden llegar a ser más caros que los fertilizantes inorgánicos
<ul style="list-style-type: none"> ◆ La descomposición libera dióxido de carbono el cual es aprovechado en la fotosíntesis o combinarse para formar carbonatos 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Se requiere de mayor mano de obra para aplicar los fertilizantes orgánicos que los inorgánicos
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Propician la floculación ayudando a disminuir la turbidez, ya que los iones positivos producto de la descomposición de la materia orgánica se combinan con los iones negativos de las partículas de arcilla 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Si no se controla, el excremento puede propiciar la formación de algas filamentosas
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Se ha argumentado que su utilización reduce la incidencia de ciertos parásitos (<i>Lernaea</i> sp.) ya que la alta actividad biológica de los excrementos afecta su ciclo de vida 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Pueden aumentar el potencial de enfermedades. Se ha reportado que la utilización de excremento puede causar infecciones micóticas en los peces, y se han asociado con infecciones en las branquias.
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Sirven de alimento suplementario. En ocasiones el excremento es consumido directamente por las especies acuáticas. En la región Indo-Pacífico es común ver cultivos de otros animales (e.g. pollos) sobre los estanques en donde se cultivan peces (e.g. Tilapia) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Se corre el riesgo de una contaminación por pesticidas; la utilización de insecticidas para controlar las moscas y otros insectos es común en las granjas de pollos. Igualmente un problema crucial es la presencia de metales pesados en el excremento
<ul style="list-style-type: none"> ◆ El excremento y otros desperdicios se pueden utilizar como substratos para la producción de proteínas unicelulares 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Pueden causar una disminución del oxígeno de los estanques

(Tacon & Jackson, 1985; Pope, 1991; Jory, 1995; Avault, 1998; Cook & Clifford, 1988)

Se han obtenido excelentes rendimientos con tilapia (de 1.8 a 4 toneladas/ha/año) utilizando gallinaza como fertilizante (Griffin *et al*, 1980; Schroeder, 1979, In: Jauncey & Ross, 1982). Igualmente, se ha demostrado que la gallinaza podía sustituir el alimento para camarón durante las primeras 8-9 semanas del ciclo de cultivo con *P. vannamei* y *P. stylirostris* (Teichert-Coddington *et al*, 1991, In: Tacon & Akiyama, 1997). Asimismo, Anderson (1978) examinó la relación económica de un sistema para utilizar excremento diluido proveniente de una operación comercial de gallinas ponedoras, como una solución para obtener el método

menos oneroso para la eliminación de este subproducto y considerando diferentes factores concluyó que la producción de Tilapia era una alternativa viable para eliminar el excremento en forma líquida

Características Nutricionales de la Materia Fecal

Además de estar ampliamente disponible y ser barato el excremento representa una rica fuente de nutrientes (72-79 de nitrógeno y 61-87% del fósforo originalmente consumido por el animal. Asimismo, contiene minerales vitaminas y energía que puede ser utilizada cuando el material es reciclado a través del alimento (Nambi *et al.*, 1992; Yousif & Alhadhrami, 1993). Estos nutrientes provienen del alimento no digerido, productos de la excreción metabólica, y residuos de la síntesis microbiana. Aunque el excremento de aves es bajo en energía metabólica, esto puede ser solventado si se adiciona grasa a las dietas (Anderson, 1978).

A continuación (Tabla 3) se presenta el perfil nutricional de la gallinaza según diferentes autores.

PROTEINA (%)	LIPIDOS (%)	CENIZA(%)	AUTOR
33.92%	—	20.41	Kearns & Roelofs, 1977
26.2	2.3	24	Stickney & Simmons, 1977
20.44	—	—	Sarac <i>et al.</i> , 1993
26.1	—	—	Flegal & Zindel, 1970
20.44	1.56	18.13	Lu & Kevern, 1975

Cerca del 44.7% de la proteína es nitrógeno proteico consistente en alimento no digerido, microorganismos, productos de la descamación epitelial del intestino y plumas. El resto es nitrógeno no proteico (NNP) consistente en ácido úrico, urea, y sales de amonio (Kearns & Roelofs, 1977).

Utilización del excremento en la alimentación de los organismos acuáticos

En base a lo anterior, el excremento ha sido utilizado como fuente proteica en diversas ocasiones (*c.f. Utilización*). Un aspecto que ha venido a reforzar su utilización como fuente de nutrientes para los organismos acuáticos es que desde hace mucho tiempo varios estados de E.U. han aprobado la alimentación de gallinaza seca en la alimentación de ganado (Stickney & Simmons, 1977).

Dentro de los problemas que se han detectado al utilizar el excremento como fuente alimenticia destaca su alto contenido amoniaco, aunque en los pocos estudios en los que ha utilizado no se han reportado efectos tóxicos (Stickney & Simmons, 1977). Dentro de este contexto se debe considerar que el ácido úrico presente puede llegar a ser tóxico a niveles superiores al 1.07% (Nambi *et al.*, 1992) Igualmente se ha reportado que el Nitrógeno no proteico representa un gran costo metabólico para los peces por lo que sería necesario un proceso microbiano análogo al de los rumiantes para que los peces pudieran aprovechar este NNP (Kearns & Roelofs, 1977). Por otra parte se han registrado resultados en crecimiento y eficiencia alimenticia inversamente proporcionales al porcentaje de inclusión (Yousif & Alhadhrami, 1993). Otra desventaja es que la composición es muy variable (dependiendo de la dieta del animal, la edad, la especie, el manejo y tratamiento del excremento antes de ser utilizado).

Utilización de Subproductos avícolas en las Dietas de Organismos Acuáticos

De manera general se puede considerar que la inclusión de los subproductos avícolas en los alimentos destinados a los organismos acuáticos resulta benéfica en términos de aprovechamiento nutricional y crecimiento como lo reflejan diversos estudios realizados en peces (Tabla 3).

<i>Autor</i>	<i>Especie</i>	<i>Subproducto evaluado</i>	<i>% de inclusión</i>	<i>% de sustitución</i>	<i>Resultados</i>
Tiews <i>et al.</i> (1976)	Trucha arcoiris <i>Onchorhynchus mykiss</i>	Harina de subproductos avícolas y harina de pluma complementada con lisina, metionina y triptófano.	—	Hasta 100%	La harina de pescado pudo ser sustituida por la mezcla de las harinas. La tasa de conversión alimenticia no sufrió modificaciones
Gropp <i>et al.</i> (1976, In Higgs <i>et al.</i> 1979)		Mezcla de harina de pluma y harina de subproductos	—	Hasta 100%	Reemplazo total de H. pescado, siempre y cuando se corrigieran las deficiencias en aminoácidos esenciales
Tiews <i>et al.</i> (1979)		Subproductos avícolas, pluma hidrolizada, soya, gluten de maíz, levaduras, proteínas bacterianas y harina de Krill	Utilizaron 43 mezclas de subproductos, pluma y otras fuentes		No hubo diferencias con respecto a la dieta control. Mejores resultados con una dieta a base de h. pescado (35%), h. pluma (15%) y h. subproductos (20%)
Koops, <i>et al.</i> (1982)		Harina de pluma	14-15%	—	Crecimiento similar a la dieta control (harina de pescado)
Schulz <i>et al.</i> (1982)		Harina de sangre y plumas	—		No hubo diferencias en cuanto a la razón de eficiencia proteica
Alexis <i>et al.</i> (85 In: Stephens 1994)		H. de subproductos	25%	—	Buen crecimiento adicionando metionina
Henrichfreise <i>et al.</i> (Steffens, 1994)		Hidrolizados de pluma	20-25%	—	A inclusiones mayores del 25% se obtuvo menor TCA y crecimiento
Steffens (1994)		Harina de subproductos avícolas y de pluma hidrolizada	27 y 54%	50 y 100%	No hubo diferencias con respecto a la dieta control con en cuanto a crecimiento, PER y PPV con la sustitución al 50%. Al 100% se obtuvo menor peso y eficiencia alimenticia. Obtuvo tasas de conversión alimenticia de 1.15

Jang & Bai (1997)		Harina de pluma y H. de subproductos	20%	73.5%	Menor peso en los peces alimentados con H. pluma. No se encontraron diferencias con respecto al control con H. subproductos
Von Schulz (1982, In Asgard & Austreng, 1986)		Combinación de sangre, pluma, sub-productos (33.3:33.3:33.3) y combinación sangre-pluma (50:50)	% (única fuente proteica)	100%	Mejor crecimiento y eficiencia nutricional con la combinación sangre-pluma-subproductos
Hughes, (1990)	Trucha de lago <i>Salvelinus namaycush</i>	Harina de pluma	6.2, 12.3, 18.5, 24.7%	25, 50, 75, 100%	Reemplazos hasta de 50% sin mermas en el crecimiento y eficiencia alimenticia
Fowler (1990)	Salmón chinook <i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	Harina de pluma	0, 5, 15%	0, 11.11, 33.33%	No hubo efectos en la tasa de conversión alimenticia, crecimiento ni en las funciones osmoregulatorias (actividad de ATPasas) con respecto al control
Fowler (1991)		Harina de subproductos avícolas	0, 10, 20, 30%	0, 26.6, 53.3, 80%	Reportó disminución en el crecimiento después del 20% de inclusión
Anderson <i>et al</i> , (1996)	Salmón del Atlántico <i>Salmo salar</i>	Harina de subproductos	10.6, 12.09, 13.56%	—	Mejores resultados con la inclusión al 12.09 y 13.56%
Higgs <i>et al.</i> , (1979)	Salmón coho <i>Oncorhynchus kisutch</i>	H. de subproductos desgrasada (Fase de agua dulce)	14, 28.5, 42.5%	33, 66, 100%	No existieron diferencias en crecimiento, TCA, sobrevivencia e ingestión con respecto a la dieta control. Sin embargo al 100% se registró un menor PER y TCA
		8 Combinaciones de H. de subproductos desgrasada o entera con H. pluma (Fase de agua marina)	16 - 40%	35 y 75%	No se registraron diferencias en crecimiento y eficiencia alimenticia con respecto al control e incluso algunas combinaciones fueron superiores a éste.
Kikuchi <i>et al.</i> (1993)	Hirame <i>Paralichthys olivaceus</i>	Harina de pluma	41-51%	100%	Tasa de crecimiento, eficiencia alimenticia y PER menores que el control
Kikuchi <i>et al.</i> (1994)		Harina de pluma hidrolizada por cocción	12, 25, 37, 50%	15, 31.25, 46.25 62.5%	No se presentaron menguas aparentes en el crecimiento con al 25% de inclusión
Voss (1985)	Turbot <i>Scophthalmus maximus</i>	Combinación de Subproductos avícolas y harina de plumas	—	50%	No se presentaron menguas aparentes en el crecimiento

Gallagher & LaDouceur (1995)	Lobina rayada (<i>Morone saxatilis</i> X <i>Morone chrysops</i>)	H. sangre de pollo Hidrolizados enzimáticos de subproductos H. subproductos bajos en ceniza	4, 9.5 18.5% 10.6, 21.2 33.8% 11.2, 22.4, 35.8%	10, 25, 50% 10, 25, 50% 10, 25, 50%	No existieron diferencias (sobrevivencia, crecimiento, PER, TCA) con respecto a un control a base de h. de pescado, excepto para la harina de sangre al 50%
Yones (89, In: El-Sayed, 1994)	Pargo plateado <i>Rhabdosargus sarba</i>	Harina de subproductos avícolas	25% y niveles mayores	—	Buenos resultados en crecimiento solo con la dieta a 25%, a niveles mayores reducción en el crecimiento y eficiencia alimenticia
El-Sayed (1994)		Harina de vísceras de pollo	15, 30, 45%	25, 50, 75 %	No se presentaron diferencias en crecimiento y eficiencia alimenticia a 25% de inclusión, a mayores niveles se observó retardo en el crecimiento
Bilio <i>et al.</i> (1979, In: Dela Higuera, 1985)	Anguila (<i>Anguilla anguilla</i>)	Pluma hidrolizada	19%	—	No hubo diferencias con respecto a la dieta control
Gallagher & LaDouceur (1988)		H. subproductos Lípidos de pollo	Mezcla de H.pescado, lípidos de pollo (5 y 10%) y H.subproductos avícolas (46%)- lípidos de pescado(6%)	61.3%	Mejor crecimiento con la dieta control que con las combinaciones o la dieta conteniendo solo subproductos avícolas
Fowler (1973)	Bagre <i>Ictalurus puunctatus</i>	Gallinaza seca	25%	—	Crecimiento y ganancia en peso moderados
Lu & Kevern (1975)	Goldfish <i>Carassius auratus</i>	Gallinaza seca y fango de desechos de incubadora	30, 70 100% combinaciones para sustituir alimento de salmón	—	Ambos sub-productos al 30% ofrecieron buenos resultados en crecimiento
	Bagre <i>Ictalurus puunctatus</i>		10, 25, 50%		Menor crecimiento que le controla todos los niveles probados
Stickney & Simons (1977)	Tilapia <i>Tilapia aurea</i>	Gallinaza seca	10, 20 30%	—	La inclusión al 10% dio resultados similares al control en cuanto a crecimiento, excelente TCA
Falaye (in: Jauncey & Ross, 1982)	Tilapia <i>Oreochromis niloticus</i> , <i>O. aureus</i>	Hidrolizados de pluma	6.3, 10.5%	30, 50%	Efectos similares al control en TCA y crecimiento, pero al 50% disminuía el crecimiento

Tacon <i>et al.</i> , (1983) (In: Bishop <i>et al.</i> , 1995)	<i>aureus</i>	Harina de pluma	30%	14.3	No hubo disminución significativa en crecimiento, utilización alimenticia o composición corporal con respecto al control
Yousif & Alhadhrami (1993)		Gallinaza seca	7.34, 22.04, 36.73, 51.42%	5, 15, 25, 35%	Mismo desempeño (crecimiento y eficiencia alimenticia) que el control solo al incluir 5%.
Bishop <i>et al.</i> (1995)		Harina de pluma hidrolizada	33, 66, 100%	4.75, 9.90, 15%	No hubo diferencias en crecimiento ni en ganancia en peso con respecto a la dieta control con la inclusión a 66%
Shilio <i>et al.</i> (1973)	Carpa <i>Cyprinus carpio</i>	Gallinaza húmeda	10, 20%	—	Efectos negativos en el crecimiento a ambos porcentajes de inclusión
Kearns & Roelofs (1977)			12.50, 20, 27.23%	—	TCA y eficiencia alimenticia inversamente relacionadas con el % de inclusión. Menor desempeño que el control
Hasan <i>et al.</i> (1990)	Carpa <i>Labeo rohita</i>	Harina de vísceras de pollo	—	20,40,60%	Mejor desempeño en la dieta control, pero mayor rentabilidad con la inclusión al 60%.
Hasan <i>et al.</i> (1997)		Harina de pluma	—	10, 25, 50%	No se observaron diferencias con respecto al control a 25 y 50% en cuanto a crecimiento, PER y TCA

Considerando estos datos se puede apreciar que los porcentajes de inclusión tanto para especies carnívoras, omnívoras y herbívoras pueden sobrepasar el 50%, llegando a sustituciones de harina de pescado del 100% en varios de los casos. Esto contrasta con lo especificado por Tacon (1988), quien en una recopilación de datos sobre la utilización de subproductos avícolas señalaba que los rangos máximos de inclusión para las especies carnívoras de peces y crustáceos iban de 10 a 15% dependiendo del subproducto y para las especies omnívoras/herbívoras de 10 a 20%.

En lo referente a la utilización de subproductos avícolas en crustáceos, son escasos los trabajos realizados para apoyar su utilización en alimentos formulados, siendo de gran interés para las casas comerciales dedicadas a la elaboración de dietas para la acuicultura y de suma importancia para los granjeros (McCarthy, 1994 *com. personal*). En la Tabla 4 se presentan algunos de los estudios más relevantes en los que se han incluido subproductos avícolas en dietas para crustáceos de interés comercial.

Procesamiento de los Subproductos Avícolas

La utilización de los subproductos avícolas se ha venido limitando debido a su alto contenido de ceniza, su pobre digestibilidad y su calidad variable, sin embargo, las nuevas técnicas de procesamiento han permitido la producción y desarrollo de nuevos ingredientes que cumplen con criterios de calidad para la nutrición de organismos acuáticos (Bureau, 1996).

Tabla. 4- Principales estudios llevados a cabo para valorizar los subproductos avícolas en dietas para crustáceos de interés comercial.

Autor	Especie	Subproducto utilizado	% de inclusión	% de sustitución	Resultados
Boghen & Castell (1981)	<i>Homarus americanus</i>	Harina de pluma	50% en base seca	Se utilizaron dietas puras	No hubo diferencias en sobrevivencia y crecimiento con respecto a la fuente proteica de referencia (harina de camarón)
Lawrence & Castille (1991)	<i>Penaeus vannamei</i>	Harina de pluma hidrolizada por cocción, h. de subproductos avícolas	5% y 10%	Se utilizaron dietas puras	Pequeñas diferencias en crecimiento con respecto a la fuente proteica de referencia (menos del 7%).
Mendoza et al., (1995)		Pluma hidrolizada enzimáticamente co-extruida con pasta de soya (1:1)	18%	50%	No se encontraron diferencias en cuanto a crecimiento con respecto a la fuente proteica de referencia
Mendoza et al., (1998b)		Pluma hidrolizada enzimáticamente co-extruida con pasta de soya (2:1)	20%	55.55%	Resultados similares (TCA, PER, digestibilidad y crecimiento) que la dieta control

Estudio descriptivo de las tecnologías Tradicionales para la Elaboración de Harina de Pluma

El modo de recuperación de las plumas es diferente según el grado de industrialización de las unidades de tratamiento. De manera general en el sector industrial, las plumas son retiradas de las mortalidades por medio de maquinas, lo que implica que sean mojadas en agua caliente a 52°C, de tal manera que las plumas son entregadas con un 60% de humedad o con 10% si son exprimidas. Lamentablemente es común que se encuentren acompañadas de desechos diversos y durante este estado son aún muy sensibles a los fenómenos de putrefacción. Por lo cual deben ser utilizadas inmediatamente o lavarse bien en su defecto, exprimidas y secadas, en espera de su utilización ulterior (Menassa, 1982).

En el momento actual prácticamente no se recurre a la utilización de la harina de pluma, como fuente alternativa de proteína debido a las restricciones de orden tecnológico inherentes a su fabricación, las cuales repercuten directamente en su calidad. Por otra parte, existen igualmente factores de orden económico que impiden su utilización a gran escala.

1.- Problemas relativos a los tratamientos de la queratina de las plumas

La queratina es interesante y original sin embargo debido a su característica de resistencia, exige recursos tecnológicos que mejoren su digestibilidad. Algunos problemas concernientes a su valor biológico, son:

La pérdida de aminoácidos (la destrucción de la cisteína) debe ser mínima con el fin de preservar la composición de la queratina como fuente proteica.

- ◆ Se debe evitar la presencia de aminoácidos libres.
- ◆ La harina de plumas debe estar constituida de péptidos grandes, ya que esto resulta deseable en la alimentación animal.
- ◆ La aparición de productos de reacción inútiles ó tóxicos debe ser evitada (desaminación, formación de lantionina y de lisoalanina).

2- Problemas asociados a la industrialización de su procedimiento

- ◆ La transformación debe ser simple.
- ◆ Los productos químicos utilizados deben ser poco costosos y no tóxicos.
- ◆ Los costos del tratamiento deben ser poco elevados de manera que sea posible que el producto fabricado sea competitivo con respecto al producto ya utilizado.
- ◆ Debe poseer una digestibilidad de al menos 75 %.
- ◆ Debe de pasar diferentes pruebas y entre otras, una prueba de inocuidad.

Hidrólisis por Cocción

El método tradicional es el de hidrólisis por cocción con vapor. Por definición, el hidrolizado de pluma es el producto del tratamiento bajo presión de plumas limpias y enteras que provienen de aves sacrificadas, sin aditivos ni aceleradores (a 6% de humedad). Las plumas son cocidas en hornos calentados por vapor que pasa entre las paredes de estos. Este procedimiento implica varias combinaciones de presión, temperatura y tiempo. Esta cocción bajo presión es actualmente la única tecnología útil a nivel industrial y tiene como función principal romper las cadenas proteicas en elementos más pequeños. Para ser eficaz este método supone que ciertos parámetros determinados, tales como temperatura, duración de la cocción y presión sean respetados, ya que su variación influye sobre el valor nutricional del producto final. El principal problema que se presenta bajo estas condiciones es el daño sustancial y selectivo a nivel de los aminoácidos, lo que disminuye en gran medida la disponibilidad de algunos de ellos como es el caso de la CYS trayendo como consecuencia una digestibilidad baja y variable (Bierolai *et al.*, 1982, In: Harvey, 1992). A este respecto cabe señalar que los aminoácidos de la proteína de la pluma son relativamente estables durante el procesamiento de cocción bajo presión, detectándose generalmente un pérdida muy pequeña en ARG, PHE, ILE; sin embargo la pérdida en CYS es extensiva. Esto se atribuye a la conversión de CYS en aminoácidos atípicos (Gregory *et al.*, 1956, In: McCasland, 1965). De la degradación de la CYS y la formación de nuevos enlaces iso-peptídicos por reacción del grupo -amino de la LYS con los sitios reactivos del ASP y GLU, así como con otros aminoácidos, pueden resultar nuevos aminoácidos tales como la lantionina, lisoalanina y - (-glutamil)-L-LYS. La hipótesis es que la formación de este tipo de enlaces reduce la digestibilidad, posiblemente evitando la penetración de las enzimas o bloqueando los sitios del ataque enzimático (Papadopoulos *et al.*, 1985). Ante el aparente daño selectivo y sustancial que sufre la proteína de la pluma durante el curso de la hidrólisis a presión se usa regularmente el análisis de lantionina como medida del deterioro causado a los aminoácidos.

La elección adecuada de condiciones de tiempo de cocción y temperatura resulta en harina de plumas de mejor calidad (Moran, 1966). Así Davis *et al* (1961 In: McCasland, 1965) mostraron que la pluma cruda contenía solo 16% de proteína digestible (digestibilidad *in vitro* por pepsina), pero al someter a la pluma a un cocimiento bajo presión en autoclave el valor de proteína digestible se incrementaba a medida que se aumentaba la presión y el tiempo (30 lbs, 30 min = 64%; 60 lbs, 20 min = 72%; 30 lbs, 4 hrs = 83%). Sin embargo otros autores argumentan que la digestibilidad de las proteínas aumenta principalmente por la presión (Sullivan & Stephenson, 1957), mientras que el tiempo y la adición de químicos afectan negativamente la digestibilidad de los aminoácidos de la pluma (Papadopulos *et al.*, 1985).

Por otra parte, las condiciones de procesamiento varían con respecto al tipo particular de plumas (edad del ave y región corporal) y la especie. Debido a esta variabilidad la harina de pluma tiene en general una composición poco fiable, por lo cual se limita su utilización subvaluando su potencial. (Gill, 1989).

A pesar de los diferentes procedimientos físicos y químicos que se han desarrollado para hacer de la pluma un ingrediente útil en términos nutricionales, su aplicación industrial no siempre se ha concretado, ya sea por el valor del producto obtenido, o bien por los problemas tecnológicos y económicos que implican su transformación (Menassa, 1982).

A continuación se presenta un panorama que contempla los procedimientos utilizados en la actualidad para el procesamiento de la pluma.

Hidrólisis Enzimática

Del análisis de estos datos se puede observar que aunque resulta fácil solubilizar totalmente la queratina de la pluma por medios exclusivamente químicos, se trata en general de tratamientos drásticos que provocan la pérdida de aminoácidos y una profunda desnaturalización proteica. Por otra parte, la adición de diferentes reactivos no aporta una mejoría notable dentro del proceso. En contraste con lo anterior, al utilizar el método de hidrólisis parcial de las plumas con una mezcla enzimática se conserva prácticamente todo el potencial nutritivo de éstas. El producto final es un ingrediente proteico estable, esterilizado, con una digestibilidad de hasta el 90% y una humedad variable de 12-14% (Gill, 1989).

La originalidad de la hidrólisis enzimática reside en la asociación de factores físico-químicos y enzimáticos a niveles en los cuales los efectos desnaturalizantes sobre las proteínas queratínicas no son alcanzados.

Para llevar a cabo la hidrólisis enzimática generalmente se emplean concentrados enzimáticos comerciales, los cuales contienen una mezcla de enzimas de amplio espectro, que incluyen: proteasas alcalinas diversas, amilasas, celulasas, lipasas, extracto de fermentación de *Bacillus subtilis*, gumasas y pectinasas obtenidas de la fermentación de *Rhizopus* sp. La mezcla es en general de alta potencia ya que solo se necesitan aproximadamente 25 kg para hidrolizar una tonelada de pluma húmeda (Nabil, 1993).

El proceso requiere de una secuencia de actividades esenciales basadas en la remoción inicial de agua para reducir la cantidad de material que se manejará, la necesidad de retener casi 50% de la humedad para una adecuada hidrólisis, y un paso de esterilización antes de terminar el producto para su estabilidad y manejo final. (Harvey, 1992).

Tabla 5- Técnicas de procesamiento para la transformación de la pluma cruda.

METODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Solubilización de la queratina de la pluma por medio de sosa caliente	Se obtiene el 50% de la queratina inicial en forma de fracción proteica	Se obtiene el 50% de la queratina inicial en forma de fracción proteica soluble mientras que la otra mitad se encuentra en forma de aminoácidos libres y prácticamente no hay producción de polipéptidos. Este procedimiento afecta el contenido de THR, SER, y ARG y particularmente de CYS. Producto final de color negro y olor sui generis
Reactivo de Schweitzer (Solución amoniacal de óxido cúprico)	No se ha encontrado formación de lantionina. No hay aminoácidos libres en la solución, encontrándose generalmente péptidos de 10,000 a 60,000 Da de peso molecular. Aminograma semejante al de la pluma virgen.	Adición de cobre al medio acuático, hay formación de ácido cistéico.
Utilización de cal hidratada	Método sencillo y poco oneroso	Valor nutricional bajo, debido a la hidrólisis incompleta de la pluma.
Solubilización mediante Dimetil Formamida (DMF)	Solubilización rápida	Provoca un déficit a nivel de los aminoácidos básicos (LYS, HIS, ARG). La CYS puede ser perdida sin transformarse en ácido cistéico; la digestibilidad de este producto, así como la eventual toxicidad del DMF no han sido verificadas
Hidrólisis por cocción con acelerador químico (HCl)	Digestibilidad de 80%	Valor nutricional pobre debido a la disminución de cisteína, metionina y obtención de polipéptidos heterogéneos. Disminuye notablemente la cistina (un parte se transforma en lantionina).
Hidrólisis enzimática con la rapidasa del Instituto Pasteur (1977).	Contenido de proteína 87.5%, no se producen aminoácidos libres	Perdida de una tercera parte de la cisteína transformándose en ácido cistéico. Tasa de cenizas elevada, la pérdida de CYS y la presencia de trazas del reductor ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) en la harina
Procedimiento de Prenasseta (1982). Solubilización mediante sosa, sulfuro de sosa y enzimas	La pérdida de aminoácidos azufrados es baja, solo un quinto de la CYS es oxidado en ácido cistéico.	Trazas del reductor (SO_2) en la harina, en relación con una elevada tasa de cenizas y trazas de Sulfato de Sodio (Na_2SO_4) el cual tiene un efecto laxante.
Procedimiento Insta-Pro (1994)	Existe una hidrólisis de todos los componentes de la pluma debido a la presencia de proteasas, lipasas, amilasas, etc. de la mezcla enzimática.	No se han realizado estudios sobre la pérdida o transformación de aminoácidos.

Sin embargo, este tipo de procesamiento podría no ser el más adecuado para procesar mortalidades ya que no existe algún método para tratar materiales tan diferentes como los tejidos blandos y la pluma con la misma eficacia al mismo tiempo. Por ejemplo, si se

sometieran las mortalidades a cocción existiría un compromiso entra la temperatura para un material y otro, *i.e* uno quedaría sobre-cocido mientras que el otro no quedaría suficientemente cocido. Lo mismo pasa en el caso de la digestión enzimática. Si las enzimas son aplicadas sobre las mortalidades es muy probable que ocurra una sobre-digestión de los tejidos blandos antes de que se digieran las plumas (Burgos *et al.*, 1974).

Una condición sumamente importante es que para su conservación inmediata y su procesamiento subsecuente las plumas sean recuperadas como un subproducto único y de ser posible exentos de desechos (piel, sangre, excremento, vísceras, etc.), lo anterior es debido a su alta sensibilidad al fenómeno de putrefacción. De aquí que una recomendación concreta radique en su utilización inmediata, o bien que sean lavadas, exprimidas y secadas en espera de su transformación ulterior.

En lo que se refiere al componente económico se puede también observar un beneficio como se ilustra en la siguiente Tabla(6).

Tabla 6.- Comparación de costos de dos procesos de hidrólisis de pluma

A) HARINA DE PLUMA HIDROLIZADA POR COCCION	B) HIDROLIZADO ENZIMATICO DE PLUMA
PLUMA CRUDA MOLIDA EN UN COCEDOR CALOR (VAPOR Y PRESION) COCIMIENTO (150°C, 60 min) PLUMA CON HUMEDAD APROX. DE 60% SECADO DEL PRODUCTO	PLUMA CRUDA MOLIDA PREMEZCLADO ENZIMATICO MEZCLAR CON UN AGENTE SECO Y/O CALENTAR PARA DETENER LA REACCION DE HIDROLISIS SECADO DEL PRODUCTO
* COSTO POR TONELADA: \$1,630 M.N.	** COSTO APROX. POR TONELADA: \$ 1,079 M.N.

* Feedstuff (1993), ** Cálculo estimado de cotizaciones realizadas a través de encuestas

Mediante ciertos procesos de reciclamiento de subproductos, particularmente en lo que concierne a la pluma, se pueden llegar a suscitar algunos inconvenientes, tales como: la alta humedad (60 a 70.52%) que se retiene después de la cocción (Tadtiyanant, *et al.*, 1993), la presencia eventual de patógenos y su rapidez de putrefacción.

En relación a esto se ha determinado que dentro del reciclamiento de los subproductos hay tres aspectos fundamentales que se deben tomar en cuenta:

1) Esterilización.- El reciclamiento de subproductos debe necesariamente incluir una etapa de esterilización ya que a través de los subproductos animales no aptos para el consumo humano se reciclan microorganismos patógenos o por lo menos se corre el riesgo de hacerlo si no se toman las medidas pertinentes (Balconi, 1990). La manera más fiable para lograr este propósito es mediante la utilización de calor. Igualmente es necesario que los productos obtenidos sean química y microbiológicamente estables lo cual se logra típicamente mediante la adición de anti-oxidantes y la reducción del contenido de agua abajo del 10% (Harvey, 1992).

2) Humedad.- El intervalo de humedad considerado para obtener productos estables en condiciones comerciales de almacenamiento es de 9 a 12%. Sin embargo, en ocasiones se puede requerir de un contenido de humedad relativamente elevado, como es el caso de las dietas semi-húmedas para peces o las dietas de maduración para crustáceos. En estos casos es permisible una humedad significativamente elevada, lo cual por supuesto permite una inclusión más importante de subproductos húmedos

3) Constancia del producto.- Para obtener productos acabados con una calidad constante (consistencia en el contenido de nutrientes de los diferentes lotes), es necesario:

- ◆ Utilizar materia prima con valores químico-nutricionales constantes o ajustar la formulación cuando varían.
- ◆ Mantener condiciones de proceso uniformes (temperatura, humedad y presión)
- ◆ Usar aditivos como antioxidantes y antimicrobianos o fungicidas

Transformación de la Pluma Cruda Mediante Hidrólisis Enzimática y Co-Extrusión con Pasta de Soya

Afortunadamente en la actualidad existen tecnologías disponibles como la extrusión y la hidrólisis enzimática que permiten solventar la mayor parte de las dificultades señaladas anteriormente. Dentro de los diferentes métodos disponibles a la fecha la extrusión tiene la ventaja de ser un proceso rápido que implica alta temperatura y presión, lo cual confiere diversas ventajas al ingrediente proteico elaborado, particularmente cuando se mezcla con otra fuente protéica como la soya por medio de la co-extrusión de los dos ingredientes.

La extrusión destruye a la mayoría de los patógenos mediante el calor y la presión ejercidos durante el proceso como es el caso de bacterias (gram positivas y gram negativas), hongos y virus e incluso exo-toxinas de estos microorganismos, todo esto sin afectar la calidad nutricional de las proteínas (Balconi, 1990; Cluet, 1990; Kerns *et al.*, 1988, Harvey, 1992; Woodrooffe, 1993 Nabil, 1993). Por medio de este proceso y tomando en cuenta esterilización y detoxificación lograda en los alimentos la vida de anaquel se prolonga (Insta-Pro, Servicios Técnicos, Panfleto publicitario). Aquí puede considerarse igualmente la destrucción de los factores antinutricionales que se presentan en las fuentes vegetales tales como: inhibidores de proteasas, fitohemaglutininas, glucosinolatos, cianógenos, factores anti-vitamínicos, factores anti-enzimáticos, factores estrogénicos, ácido ciclopropenónico, gossipol, saponinas, ácido fítico, mimosina y micotoxinas (Tacon & Jackson, 1985).

En el caso de la harina de pluma al ser co-extruida con un agente seco (*eg.* pasta de soya, humedad 7%) se llega a reducir la humedad del producto, haciendo posible la complementación de sus características nutricionales. Industrialmente existe la posibilidad de exprimir la pluma que naturalmente contiene un grado de humedad de 60%, a un 10%. Sin embargo la tecnología de co-extrusión permite prescindir del prensado (Menassa, 1982).

Además, esta tecnología permite igualmente lograr:

- ◆ Incremento del valor nutritivo ya que aumenta su digestibilidad y se enriquece su perfil de aminoácidos
- ◆ Incorporación directa en formulas para alimentos compuestos

- ◆ Capacidad de almacenamiento
- ◆ La presencia de solo trazas de lantionina en el producto co-extruido indica que la degradación de la CYS es mínima.

En lo que concierne a este tipo de rutas de transformación se puede considerar que la incorporación de una fuente proteica de origen vegetal como la soya no solo es adecuada sino necesaria ya que las harinas a base de proteína animal no contribuyen estructuralmente a la extrusión de las dietas destinadas a los organismos acuáticos, ya que no se expanden o combinan con otros ingredientes en la misma manera que los hacen las fuentes vegetales debido a su contenido de almidón (Rockey & Huber, 1993). Por otro lado, resulta más deseable seleccionar un material de origen vegetal para sustituir las deficiencias en aminoácidos de la pluma en lugar de adicionar suplementos individuales para cada aminoácido (Bishop *et al.*, 1995). Así al utilizar pasta de soya co-extruida con la pluma favorece el perfil aminoacídico de esta última ya que la pluma a pesar de ser rica en aminoácidos azufrados (cistina, cisteína y metionina), contiene bajos niveles de lisina, no así la pasta de soya la cual es rica en lisina pero baja en aminoácidos azufrados, por lo tanto ambos ingredientes resultan complementarios (Gill, 1989). Por otra parte, la incorporación de fuentes vegetales, deficientes en algunos aminoácidos esenciales, si no es complementada con otros subproductos o aminoácidos sintéticos para crear una dieta balanceada, implicaría una gran pérdida de nitrógeno (menor retención proteica), aumentando el impacto de la acuicultura en el ambiente (Hardy, 1997).

Además el hecho de agregar pasta de soya a los hidrolizados enzimáticos de pluma contribuye a detener parcialmente la reacción de hidrólisis debido a dos factores: la humedad logra descender a 10-15%, y por otra parte se produce una sobresaturación de la enzima por un exceso de sustrato (Gill, 1989). Cabe añadir que la temperatura alcanzada durante el proceso de extrusión frena por completo cualquier acción enzimática.

Esta nueva combinación de tecnologías ha permitido elaborar ingredientes proteicos que han dado resultados probados en la alimentación animal (Tadtiyanant, *et al.*, 1989; 1993; Nabil, 1993) y particularmente en el caso de los organismos acuáticos (Mendoza *et al.*, 1996; 1998b).

Así mediante la utilización de nuevas tecnologías de transformación de plumas se debería absorber la casi totalidad de la producción ya que la harina obtenida sería competitiva por su composición y precio (Menassa, 1982).

Influencia de la Hidrólisis

La mayor digestibilidad de la pluma hidrolizada confirma que los productos resultantes del proceso son más susceptibles a la hidrólisis enzimática que la pluma cruda. Este aspecto también ha sido demostrado por otros autores (Davis *et al.*, 1961; Draper, 1944, In: McCasland, 1965). La razón probable son cambios en la estructura de la queratina, principalmente el clivage de los puentes disulfuro de la CYS.

Las grandes variaciones en la digestibilidad protéica de los subproductos avícolas pueden deberse, en muchos casos, a la variabilidad en la calidad de los ingredientes, además del hecho de que los sistemas y condiciones de procesamiento varían igualmente entre los rastros e industrias de segunda transformación (Bureau, 1996). De aquí que la disparidad en

las características de las harinas de pluma provenientes del sector industrial se atribuyan no solo a factores relacionados con el procesamiento mismo (duración de la cocción, temperatura, presión), sino también a las condiciones de almacenamiento antes y después del tratamiento (Papadopulos *et al.*, 1985).

Para ilustrar este aspecto a continuación se presenta (Tabla 7) un estudio efectuado por la *Fat and Proteins Research Foundation Inc.*, sobre la composición de harinas de pluma provenientes de 12 productores diferentes que representaban a más del 50% de la producción americana total de harinas de pluma, se evidenciaron importantes diferencias en la composición entre los diferentes productores (Menassa, 1982).

Productor	No. de muestras	Proteína	Dig. Protéica	LYS mg/g	MET mg/g	CYS mg/g
A	4	84.4 ±0.50	84.4 ±1.05	20.6 ±1.49	4.8 ±0.40	46.9 ±3.47
B	4	84.9 ±0.73	80.5 ±1.94	20.3 ±1.36	4.9 ±0.13	53.2 ±6.08
C	3	85.3 ±0.72	73.7 ±10.13	18.4 ±0.95	4.2 ±0.15	44.3 ±3.70
D	3	87.2 ±1.85	77.5 ±1.87	20.7 ±0.81	4.7 ±0.43	48.1 ±3.60
E	4	89.0 ±0.87	83.2 ±4.83	15.3 ±0.50	4.7 ±0.26	43.4 ±2.10
F	2	89.0 ±0.00	83.3 ±2.76	11.9 ±0.35	3.8 ±0.00	45.0 ±1.98
G	3	85.1 ±0.62	74.9 ±5.41	14.7 ±3.83	4.2 ±0.56	38.9 ±1.73
H	3	85.7 ±2.80	73.8 ±5.18	19.1 ±2.56	5.0 ±0.50	39.7 ±2.78
I	3	86.9 ±2.48	72.7 ±1.51	17.6 ±1.35	5.4 ±0.31	38.6 ±1.12
J	1	86.6	70.3	14.7	5.4	34.7
K	4	87.3 ±2.37	80.3 ±5.56	15.3 ±1.06	4.6 ±0.25	36.6 ±4.65
TOTAL	34	86.4 ±2.12	78.5 ±5.92	17.5 ±3.08	4.7 ±0.52	43.3 ±6.13

A esto cabe añadir que no obstante registrarse un aumento en la digestibilidad en el caso de la hidrólisis de mayor tiempo y con temperaturas más elevada, no necesariamente confiere beneficios ya que la hidrólisis actúa sobre todos los componentes del subproducto y se acompaña de la destrucción de ciertos aminoácidos lo que hace disminuir la eficiencia proteica (Lyons, 1992). Inversamente, una hidrólisis insuficiente se traduce en una digestibilidad muy baja (Menassa, 1982).

Energía

Por otra parte se ha sugerido que la disminución en crecimiento observada por el remplazo total de la harina de pescado con harina de pluma o de subproductos avícolas puede deberse al incremento en la cantidad de energía requerida para digerir, absorber y asimilar la proteína que compone estos ingredientes (Fowler, 1982; Higgs *et al.*, 1979; Bishop *et al.*, 1995). Esto es especialmente cierto cuando los individuos son alimentados *ad libitum*, ya que en este caso se requiere de energía metabólica adicional para hidrolizar la proteína la cual si no llega a ser asimilada e incorporada en los tejidos, se convierte en un producto de deshecho por lo que debe ser metabolizada y consecuentemente removida del organismo, lo que implica igualmente una cantidad substancial de energía.

Evolución de las Condiciones de Procesamiento

Los estudios efectuados durante la década pasada fueron realizados con subproductos de más o menos buena calidad, con un gran contenido de ceniza y generalmente con bajos valores de digestibilidad protéica. Los resultados de la mayor parte de estos estudios indicaron una gran variación en el potencial de los subproductos recuperados de los rastros

para reemplazar la harina de pescado, a menudo debido a la variación en la calidad de los subproductos. Este aspecto ha limitado en gran medida la utilización de los ingredientes proteicos en las dietas de los organismos acuáticos (Bureau, 1996). Sin embargo, estudios más recientes sugieren que actualmente estos subproductos tienen una mayor digestibilidad, pero a pesar de esto se sigue encontrando una gran variabilidad.

Diferencia en los Sistemas para Determinar la Digestibilidad

Digestibilidad in vivo

Se han obtenido diferentes valores de digestibilidad en función del sistema utilizado para estimar la digestibilidad. Así, por ejemplo, al utilizar la misma fuente de subproducto (*National By-products Inc.*) aquellos autores que utilizaron el sistema de Guelph obtuvieron digestibilidades más altas que los que utilizaron el método de colecta por presión manual (Hajen, 1993; Bureau, 1996).

Digestibilidad in vitro

De la misma manera se pudo apreciar que los métodos *in vitro* tenían diferente sensibilidad, siendo el pH-Stat el más aproximado a los valores obtenidos de digestibilidad *in vivo*, y en especial aquel que en el que se utilizan enzimas homólogas (de ciegos pilóricos de trucha) (Dong *et al.*, 1993)

Dentro de este contexto, Johnston y Coon (1979) determinaron la digestibilidad *in vitro* de harina de pluma y de carne y hueso por el método de la AOAC (1975) y observaron que el decremento de la concentración de la solución pepsina-HCl (0.002%) aumentaba la sensibilidad de la prueba, incrementando la diferencia de digestibilidad entre las harinas, siendo más elevada la digestibilidad de la harina de carne y hueso debido a que en el caso de la de pluma se necesitaban cantidades mayores de la solución pepsina-HCl. Igualmente se han reportado desviaciones como la ocurrencia de reacción de Maillard durante la digestión con pepsina (DeBaun & Connors, 1954 In: McCasland, 1965), (tabla 8).

Influencia de la Ceniza

El tipo de técnica de secado es sin duda uno de los factores más importantes ya que el exceso de ceniza resultante puede disminuir la digestibilidad de algunos nutrientes (Hajen, 1993; Bureau, 1996). A este respecto Bureau (*op. cit.*) señala que debería existir interés en comparar el desempeño de dietas formuladas con subproductos con bajo contenido de ceniza (8 - 10%) y subproductos convencionales (contenido de ceniza 13 - 15%) ya que el menor contenido de ceniza y la mejor calidad de los subproductos constituyen una ventaja al formular dietas por que así proporcionan menores niveles de material inorgánico (Fowler, 1991). Esto ha quedado sustentado por varios estudios, entre ellos el realizado por Dong *et al* (1993) quienes reportaron diferencias significativas en el contenido proximal de los subproductos provenientes de 6 compañías - porcentaje de ceniza (11-23%), lípidos (10-19%), proteína (55.63 - 73.55%) - encontrando que la relación entre el contenido de proteína y ceniza era inversamente proporcional. Desde el punto de vista nutricional cabe considerar la posible alteración de los resultados obtenidos en diferentes estudios de digestibilidad debido a la acción de las cenizas sobre las enzimas (Lan & Pan, 1993).

Tabla 7.- Digestibilidad in vivo e in vitro de diferentes subproductos avícolas.

Autor	Especie	Subproducto	PC	DPA	DMS	DE	Lípidos	Ceniza	Procesamiento
McCasland, 1965	In vitro Pepsina Bromelaina Rhozyma A-4	H. de pluma	92.3	87.12 73.31 23.01			1.54		Hidrólisis por cocción. 134°C, 30 lbs de presión, secado a 60°C
	Pepsina Bromelaina Rhozyma A-4	Pluma cruda	90.7	21.54 21.34 2.21			1.28		
Cho & Slinger, 1979	Trucha arcoiris <i>Oncorhynchus mykiss</i>	Harina de pluma H.de subproductos		62.3 69.2		3899 3623			
Higgs <i>et al.</i> , 1979	Trucha arcoiris <i>Onchorhynchus mykiss</i>	H. Pluma	91%	85%					Cocción a 110-115°C, secado a 80°C (secador con chaqueta de vapor). H. desgrasada con hexano, estabilizada con etoxiquin.
Boghen & Castell, 1981	Langosta <i>Homarus americanus</i>	Harina de pluma	71.9					2.28	
Cho <i>et al.</i> , 1982	Trucha arcoiris (<i>Onchorhynchus mykiss</i>)	Harina de pluma, subproductos de matadero de aves		58 68					
Cho <i>et al</i> (1985, In: Tacon, 1988)	Trucha arcoiris <i>Salmo gairdneri</i>	H. pluma	80	58	75	70		4	
Spiridiakis <i>et al.</i> , 1989	<i>Dicentrarchus labrax</i>	H. de pluma		90.3 ±0.8					Hidrólisis por cocción
Fowler, 1990	Salmon chinook <i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	H. de pluma	89.7				4.2	1.5	Hidrólisis por cocción
Cho & Kaushick, 1990	Trucha arcoiris (<i>Onchorhynchus mykiss</i>)	Harina de pluma		58	75	70			
		H. subproductos		68	52	71			
Fowler, 1991	Salmón chinook <i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	H. pluma H. subproductos	82.2 72.7				7.1 13.7	2.4 9.2	
Castro <i>et al.</i> , 1993	Corvina <i>Sciaenops ocellatus</i>	H. pluma		43.2 a 69	36.8				

Dong <i>et al.</i> (1993)	Trucha arcoiris <i>Oncorhynchus mykiss</i>	Harina de subproductos avícolas (7 muestras)	1.-63.75 2.-61.25 3.-63.75 4.-73.75 5.-70.63 6.-55.63	- 64.4 65.4 77.7 68.9 72.7				14.2 14.9 19.1 10.3 12.2 12.0	12.6 18.2 14.0 11.2 11.9 22.9	Harinas comerciales 1.-West coast reduction LTD. Vancouver, B.C. 2.-Foster Commodities Inc., Livingston, CA 3.- Perdue Farms Inc., Robertsonville, NC 4.- National By-Products, Inc., Kansas City, KS 5.-River Valley By-Products, Scranton, AR 6.-Willbur-Ellis, Kent, WA
	Dig. <i>in vitro</i> (pH-Shift con enzimas de mamíferos)		1.-63.75 2.-61.25 3.-63.75 4.-73.75 5.-70.63 6.-55.63	83.6 84.7 84.2 84.6 86.5 86.2				14.2 14.9 19.1 10.3 12.2 12.0	12.6 18.2 14.0 11.2 11.9 22.9	
	Dig. <i>in vitro</i> (pH-Stat con enzimas de mamíferos)		1.-63.75 2.-61.25 3.-63.75 4.-73.75 5.-70.63 6.-55.63	82.6 88.7 75.3				14.2 14.9 19.1 10.3 12.2 12.0 14.6	12.6 18.2 14.0 11.2 11.9 22.9	
	Dig. <i>in vitro</i> (pH-Stat con enzimas de trucha)		1.-63.75 2.-61.25 3.-63.75 4.-73.75 5.-70.63 6.-55.63	64.8 72.4 57.9				14.2 14.9 19.1 10.3 12.2 12.0	12.6 18.2 14.0 11.2 11.9 22.9	
Hajen <i>et al.</i> , 1993	Salmon chinook <i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	Harina de subproductos avícolas secada por métodos indirectos	69.6	84.8	75.9	72.4	13.5	10.8		Harina comercial (National By-Products, Inc., Kansas City, KS.
		Harina de subproductos avícolas secada al vacío	64.2	74.4	65.6	65.4	20.2	12		
		H. de pluma	84.9	70.8	63.1	57.4	8.1	4.3		
Sarac <i>et al.</i> , 1993	Camarón tigre <i>P. monodon</i>	H. de vísceras	67.6				19.17	10.53		Hidrólisis por cocción
El-Sayed, 1994	Pargo plateado <i>Rhabdosargus sarba</i>	H. subproductos	59.42				30.31	10		H. comercial (Arab-Quatari Co., Doha Quatar)
Kikushi <i>et al.</i> , 1994	Hirame <i>Paralichthys olivaceous</i>	H. de pluma	84				5%	2%		Hidrólisis por cocción, 4kg/cm ² , 125-130°C, 60 min, secada con aire a 200°C.
Stephens, 1994	Trucha arcoiris	Combinación de H.	62				22.8	7.2		Tratamiento por presión y

	(<i>Onchorhynchus mykiss</i>)	subproductos y H. pluma							vapor en autoclave
Bishop <i>et al.</i> , 1995	<i>Oreochromis niloticus</i>	H pluma	80.26	82			8.38	2.92	Hidrólisis por cocción (Alabama Feed By-products, Anceville, AL)
Gaylord, 1995	Corvina <i>Sciaenops ocellatus</i>	H. de subproductos	64.3	48.7	75.6	71.7 3580	13.9.3	16.4	
Keembiyehetty, 1995	Sunshine bass (<i>Morone chrysops</i> X <i>M. saxatilis</i>)	H. subproductos	64.3	59.9	68.8		12.6	15.8	Hidrólisis por cocción. Southwest Speciality feeds, Liverpool, TX
Pfeffer <i>et al.</i> , 1995	Trucha arcoiris <i>Oncorhynchus mykiss</i>	H. Sangre de pollo H. víceras de pollo Harina de pluma	91.7 62.6 85.8	78 50.7 73.8		20.6 18.3 20.9	3.7 21.8 9.9	2.6 13.4 4.3	H. cocción, secador en anillo. Sudoldenburguer, Tierfrischmehl Anlangengesellschaft, Diepholtz, Alemania
Mendoza <i>et al.</i> , 1995	Dig. <i>in vitro</i> con tripsina	Hidrolizados enzimáticos de pluma coextruidos con soya (1:1)	60	76.23			1.46	16.43	Pluma hidrolizada enzimáticamente (120 min), coextruida con pasta de soya,. Secado a temperatura ambiente.
Anderson <i>et al.</i> , 1996	Salmon del Atlántico <i>Salmo salar</i>	Harina de subproductos	63.2	85.7		89	13.8		Hidrólisis por cocción
Bureau, 1996	Trucha arcoiris <i>Oncorhynchus mykiss</i>	Harina de pluma de pollo y pavo y pelo de cerdo (muestras 1 a 4) y un sub-producto avícola (muestra 5)	1.-74.9 2.-81.6 3.-75.8 4.-75.3 5.-65.1	77.6 75.4 76.4 85.4 85.5	82.1 79.9 78.7 84.0 75.4	79.4 78.0 75.9 80.3 70.4			Harinas comerciales, hidrolizadas por cocción: 1.-30 min, 40 psig secado en disco 2.-5 min, 65 psig, secado en roto plate 3.-40 min, 40 psig, secado en anillo 4.-40 min, 40 psig, secado por vapor indirecto 5.-30 min, 125°C, 1-2 in columna de agua
Hasan <i>et al.</i> , 1997	Carpa de la India <i>Labeo rohita</i>	H. de pluma	84.01	60.36			1.97	13.75	Hidrólisis por cocción, 130°C, 2.5 hrs, secado a 60°C.
Mendoza <i>et al.</i> , 1998b	Camarón blanco <i>Penaeus vannamei</i>	Hidrolizados enzimáticos de pluma coextruidos con soya (2:1)	61.01	70			1.13	10.67	Pluma hidrolizada enzimáticamente (120 min), co-extruida con pasta de soya,. Secado a temperatura ambiente.
	Dig. <i>in vitro</i> con tripsina			65±5					

Perfil de Aminoácidos de los Subproductos Acuícolas

Nutricionalmente los subproductos avícolas deben ser considerados como recursos renovables (re-utilizables y siempre disponibles) debido a su composición bruta y a la gran cantidad de nutrientes que en éstos residuos se pueden encontrar (Harvey, 1992) y al ser correctamente procesados pueden ser considerados como ingredientes útiles en la elaboración de alimentos acuícolas (Kearns, 1990; Nabil, 1993).

Diferentes autores confirman lo anterior describiendo cualitativa y cuantitativamente el contenido de aminoácidos esenciales de las diferentes presentaciones de los subproductos, en relación a una fuente de proteína estándar como lo es la harina de pescado.

Aminoácidos Limitantes

La queratina representa del 85 al 90% de la materia nitrogenada de las plumas. Su composición es interesante y original ya que esta es rica en THR, ARG, VAL, PHE y LEU y muy rica en CYS; contrariamente, las tasas de HIS, LYS y MET son bastante bajas (Wilder *et al.*, 1955; McCasland, 1965; Menassa, 1982). Tacon & Jackson (1985) señalan que el primer aminoácido limitante es LYS seguido de HIS y MET.

Los aminoácidos azufrados pueden ser intercambiables en cierta medida, así la CYS puede cubrir en gran medida una carencia en MET. Es regularmente admitido que 40-50% de los aminoácidos azufrados pueden ser suministrados en forma de CYS. La CYS no se puede convertir en MET pero el requerimiento en MET es igual a 40-50% del requerimiento en MET+CYS, por lo cual los aminoácidos limitantes son la LYS y la HIS. Considerando lo anterior las proteínas queratínicas que presentan un buen coeficiente de asimilación pueden complementar y/o mejorar las proteínas utilizadas aportando una tasa de aminoácidos azufrados importantes. Sin embargo, de acuerdo a Fowler (1991) los altos niveles de CYS no compensan la carencia en MET en sustituciones del 100%. A esto cabe agregar que debido al efecto antagonista entre el exceso de CYS con respecto a la MET, los animales alimentados con altos niveles de h. pluma pueden sufrir una deficiencia en MET (Tacon, 1988).

La disminución en crecimiento observada al utilizar la harina de pluma hidrolizada como única fuente de proteína se debe sin duda a niveles sub-óptimos de aminoácidos esenciales de este ingrediente (Bishop *et al.*, 1995), a esto se debe añadir que el suministro insuficiente en aminoácidos es más evidente en dietas con menor contenido de proteína y más lípidos (Steffens, 1992).

A este respecto, Steffens (1994) sugiere que las harinas de subproductos de aves pueden sustituir completamente la harina de pescado siempre y cuando se le adicionen los aminoácidos correspondientes. En relación con lo anterior cabe señalar que la adición de aminoácidos libres a las dietas son mejor utilizados por los peces carnívoros, debido a su mayor velocidad de absorción, como es el caso de los salmónidos.

Por otra parte al momento de suplementar con aminoácidos libres a la proteína o conjunto de proteínas en las cuales pueda haber una deficiencia (para revisión ver Tacon & Jackson, 1985) debe considerarse también la utilización de los aminoácidos por parte del organismo, en efecto se da el caso de que peces como los salmónidos utilizan muy bien los aminoácidos libres adicionados a la dieta por lo cual la obtención de fuentes proteicas no es tan

problemática, sin embargo son más bien la excepción ya que en otros peces como bagre y lobina este no es el caso.

Es interesante observar que entre los aminoácidos esenciales presentes en la gallinaza, solo la MET parece ser el más limitante (Kearns & Roelofs, 1977).

En lo que concierne a los requerimientos, estos van a variar con respecto a la especie (McGeorge, 1992), la edad (talla) (Chen *et al.*, 1985), la condición fisiológica (Akiyama, 1991) el tipo de sistema adoptado (extensivo o intensivo) y las prácticas de alimentación (Lim & Dominy, 1989 ; Lovell, 1992).

A continuación (Tabla 9) se presenta una breve síntesis del perfil de aminoácidos de diversos subproductos y los requerimientos para diferentes especies.

	Composición de aminoácidos (% Prot)					Requerimientos de aminoácidos (% Prot.)				
	Pluma Cruda ¹	Pluma Hidrolizada ¹	Pluma Hidrolizada: Pasta de soya (1:1) ²	H. de subproductos ³	Excremento ⁴	Tilapia ⁵	Trucha Arcoiris ⁵	Salmón Chinook ⁵	Bagre de cana ⁵	Camarón ⁶
THR	4.21	3.72	4.03	4.6	2.05	3.88	--	2.2	2	3.6
VAL	11.52	9	5.79	4.9	2.58	2.8	--	3.2	3	
MET	0.41	0.67	1	2	4.88*	3.2	2.35	4	2.3	2.4 (3.6*)
ILE	5.14	5.15	4.38	3.1	2.05	3.1	--	2.2	2.6	3.5
LEU	7.1	7.63	7.43	6.1	3.32	3.4	--	3.9	3.5	5.4
TYR	2.98	3.5		2.3						
PHE	5.18	5.18	4.79	3.8	2.91**	5.5	4.3	5.1	5	4 (7.1**)
LYS	1.14	1.02	4.27	5.9	2.01	4.6	4.6	5	5.05	5.3
HIS	1.68	1.94	1.76	2.5	0.82	1.7	--	1.8	1.5	2.1
ARG	7.43	7.85	6.79	5.1	1.93	4.1	4.3	6	4.3	5.8
TRP			0.95	0.8		1	0.83	0.5	0.5	4
CYS				1.1						

*Metionina + Cisteína; **Fenilalanina + Tirosina

¹- McCasland (1965); ²- Cálculo efectuado para fines comparativos; ³- Dong *et al.*, (1993); ⁴- Kearns and Roelofs (1977); ⁵- Wilson (1994); ⁶- Lovell (1992).

De manera general se puede apreciar que los aminoácidos limitantes para la mayoría de las especies son MET, LYS e HIS. Sin embargo se puede notar que la complementación de pluma hidrolizada con pasta de soya restaura el valor nutricional de la primera, a excepción de la HIS.

Tilapia

De acuerdo a Bishop *et al.* (1995) la harina de pluma hidrolizada es una fuente rica en proteína y cumple con los requerimientos en aminoácidos para Tilapia, excepto en ILE (Jouncey & Ross, 1982; Santiago & Lovell, 1988). Por otra parte, Falaye (1982, In: Jouncey & Ross, 1982) indicó un menor desempeño en crecimiento y eficiencia alimenticia con sustituciones de 50% atribuyendo esto a la deficiencia de harina de pluma en los siguientes aminoácidos: MET, LYS, HIS, TRP. Al suplementar dietas con HIS se mejoró el crecimiento, sin embargo dietas suplementadas con LYS o MET no produjeron mejorías.

Salmónidos

Dong *et al.* (1993) señalaron que la MET era el primer aminoácido limitante y PHE el segundo comparado con los requerimientos de aminoácidos para salmón chinook. Mientras que con diferentes especies de trucha se ha mencionado que la MET es el aminoácido más deficiente

seguido por HIS y LYS (Hughes, 1990). Por otra parte Stephens (1994) pudo lograr el remplazo completo de harina de pescado, pero solo incorporando aminoácidos deficitarios, principalmente LYS y MET. Lo cual concuerda con los estudios de Tiews *et al.* (1976) quienes lograron un remplazo completo con complementos de LYS, MET y TRP. Igualmente Alexis *et al.* (1985) observaron buenos crecimientos suplementando con MET.

Hirame

En el caso del hirame Kikushi *et al.* (1994) establecieron que los aminoácidos esenciales considerados como carentes en la harina de pluma eran TRP, MET, LYS, HIS).

Camarón

Son escasos los estudios realizados con camarón en los que se haya investigado el perfil aminoacídico de los subproductos avícolas. Sarac *et al.*, (1993) observaron que la harina de vísceras de pollo alto EAAI (0.90) con *P. monodon*, sin embargo, resultaba carente en HIS. En concordancia con lo anterior Boghen & Castell (1981) encontraron 2 veces la cantidad de HIS y MET en harina de camarón que en harina de pluma.

Procesamiento

Aunque la composición de aminoácidos de un ingrediente, revelada por métodos fisicoquímicos es un buen indicador de su potencial nutritivo, esto en ocasiones puede ser erróneo si un aminoácido o más están parcialmente disponibles para el animal en el curso de la digestión, absorción o metabolismo. Esto es el caso particular de la proteína presente en los ingredientes procesados en donde el efecto del calor, que aunque benéfico en algunos casos, reduce su valor nutricional (Papadopulos *et al.*, 1985). A este respecto, Gregory *et al.* (1956) señalaron que el perfil de aminoácidos de pluma hidrolizada por cocción eran relativamente estables durante el proceso de cocción, sin embargo se constató que existía un daño substancial y selectivo a nivel de ciertos aminoácidos durante la hidrólisis provocada por el vapor a alta presión, trayendo como consecuencia una destrucción menor de ARG, PHE, ILE y CYS. De estos el único que manifiesta una pérdida considerable es la CYS. Como se señaló anteriormente este aminoácido es susceptible de transformarse en lantionina (Bierolai *et al.*, 1982, In: Harvey, 1992). Esto resulta en una digestibilidad pobre y variable, de aquí que se registren valores del orden de 52.4-70.5% en peces (Hardy, 1991).

Ante estos inconvenientes se han buscado diferentes soluciones para mejorar la calidad nutricional de la pluma. Se ha reportado que por medio de la complementación de la harina de pluma con LYS, MET y TRP provenientes de otras harinas de subproductos avícolas, se podría llegar a sustituir integralmente la harina de pescado en dietas para truchas (Tiews *et al.*, 1976). En el mismo sentido Buenrostro-Rojas (1997) menciona que aún no se han explorado combinaciones de subproductos que ya se utilizan para la alimentación de otras especies animales (ganado) e.g. la adición de harina de sangre de pollo a la harina de pluma, combinación que ofrece una complementación de los aminoácidos azufrados de la pluma con la abundancia de LYS de la sangre.

Lípidos Provenientes de los Subproductos

Ya que los ácidos grasos poli-insaturados (C-20 y C-22) son esenciales, y estos no se encuentran presentes en los lípidos neutros de los animales y plantas del medio terrestre y dulceacuícola resulta necesaria la incorporación de aceite de pescado (3 al utilizar fuentes proteicas de origen avícola). Sin embargo, al utilizar una mezcla de grasa de pollo y otros animales terrestres con aceite de pescado incluidos al 7% se observó una disminución en el crecimiento de *P. vannamei*, indicando que las tasas de los diferentes ácidos grasos son importantes (Lawrence & Castille, 1991). Mientras que Higgs *et al.* (1979) demostraron que era posible utilizar los lípidos de los subproductos como fuente de energía para crecimiento en la misma medida que los lípidos de pescado en dietas para trucha arcoiris. Sin embargo fue necesaria la inclusión de lípidos de pescado para satisfacer los requerimientos en -3.

En contraste con lo anterior, al utilizar especies menos exigentes en cuanto al perfil de ácidos grasos Gallagher & Degani (1988) reportaron un menor crecimiento en anguilas alimentadas con dietas en las que se reemplazaron harina y aceite de pescado con harina y grasa de subproductos avícolas. Pero, al utilizar harina de pescado desgrasada y harina de subproductos avícolas desgrasada suplementadas con aceite de pescado o con grasa de subproductos avícolas, se notó una mejoría en el crecimiento de anguilas con crecimiento moderado al adicionar 10% de aceite de pescado en las dietas, mientras que en anguilas con crecimiento rápido no se observó diferencia en crecimiento al suplementar las dietas con 10% de aceite de pescado o 10% de grasa de subproductos avícolas. En el mismo sentido, Lochman & Phillips (1995) encontraron que un nivel del 4% de grasa de pollo podían sustituir 4% de aceite de hígado de bacalao en dietas formuladas para bagre y sardina dorada (*Notemigonus crysoleucas*). Y a pesar de que no se adicionaron lípidos conteniendo -3 HUFA no se mostraron signos de deficiencias durante 8 semanas. Esto se debió posiblemente a la presencia de cantidades traza de estos ácidos grasos (aproximadamente 0.2% de la dieta) en la harina de pescado y soya presentes en la formulación. Por otra parte, la grasa de pollo contiene aproximadamente 2% de -3 HUFA, tales como linolénico (18:3 -3) y estearidónico (18:4 -3), y el bagre es capaz de alargar y desaturar estos ácidos grasos en -3 HUFA de cadena larga. Igualmente, Gannam *et al.* (1992) lograron reemplazar 50% de aceite de hígado de bacalao con grasa de subproductos avícolas en la lobina rallada (*Morone chrysops* X *Morone saxatilis*), sin observar reducciones en el crecimiento. Asimismo, Degani (1986) encontró que al suplementar dietas para anguilas con grasa de subproductos avícolas se observaba un mayor crecimiento que el de anguilas cuyas dietas habían sido suplementadas con aceite de soya, incorporados al mismo porcentaje.

Variabilidad de los Subproductos

Existen diferentes variables que influyen sobre el valor nutricional de los subproductos dentro de las cuales se cuentan las siguientes:

Método de procesamiento. Se ha señalado una menor calidad para algunas harinas comerciales debido al sobre-calentamiento durante el proceso (Wisman, 1958; Wessels, 1972) o debido al método de secado en el caso de otros subproductos (Nambi *et al.*, 1992; Hajen, 1993; Bureau, 1996). Igualmente se ha demostrado la existencia de diferencias en las condiciones óptimas de procesamiento para los subproductos y la pluma (Burgos *et al.*, 1974).

Para separar el efecto de las condiciones de procesamiento de las de la calidad natural de la pluma, hay que considerar la variación del tipo particular de pluma (en orden de importancia: la edad del animal, especie y región corporal), lo cual de no ser respetado repercute en la composición de las harinas haciéndolas poco fiables. Por otra parte hay que considerar las variaciones de los porcentajes de materia seca, proteína cruda, grasa y digestibilidad encontradas en las harinas de subproductos avícolas de las diferentes operaciones comerciales (Dong *et al.*, 1993). La magnitud de estas variaciones conlleva a la necesidad de evaluar la composición química de los subproductos si se van a usar como ingredientes para la formulación (Haque, 1991).

Inclusión de residuos de subproductos diferentes. Se han reportado diferencias en la calidad nutricional provenientes de distintos países (Argentina, Canadá y Sudáfrica), lo cual ha sido atribuido a la contaminación con sangre de ciertos lotes, lo que aumentó el contenido de HIS de los mismos (Wisman, 1958; Wessels, 1972).

Energía digestible. Fowler (1990) atribuye el menor desempeño en crecimiento encontrado por otros autores al hecho de que al sustituir la harina de pluma por harina de pescado en las dietas experimentales no tuvieron en cuenta la energía digestible, además de la posible variación debido a la fuente de la pluma.

Variación interespecífica. Análisis químicos revelan que existen pocas diferencias en cuanto a la composición proximal de las plumas entre las especies, y estas parecen más bien estar dadas por la edad de los animales, principalmente por una mayor proporción de agua en los pollos jóvenes (Menassa, 1982).

Tipo de organismo alimentado. A pesar de que algunas especies de salmón y trucha pueden sobrevivir y crecer bien con dietas en las que se reemplaza harina de pescado en proporciones moderadas - 35%- (Higgs *et al.*, 1979; Fowler, 1982), otras como la tilapia y específicamente *Oreochromis niloticus*, puede desarrollarse bien con reemplazos de más del 50% (Bishop *et al.*, 1995).

Tamaño de los organismos. Fowler (1990) observó un buen desempeño en tanto en crecimiento como en eficiencia alimenticia al incluir harina de pluma en la dieta de salmón chinook, argumentando que en otros casos, en los que se había utilizado este subproducto con esta misma especie se habían observado menores crecimientos debido a que estos autores utilizaron organismos más pequeños y mayor porcentaje de inclusión del subproducto.

Fuente del subproducto y otros factores. Bishop *et al.* (1995) reportaron mayores tasas de crecimiento en juveniles de tilapia (*Oreochromis niloticus*) que otros autores al utilizar la misma proporción de pluma y organismos de la misma especie atribuyendo esto a la fuente de la pluma, otros constituyentes del alimento, condiciones de cultivo o el origen de los progenitores.

Frescura del subproducto. Fowler (1991) señala que el grado de frescura antes del proceso puede ser un factor que introduzca variabilidad.

Finalmente de acuerdo a Tacon (1996) el análisis de los datos publicados de los ingredientes para sustituir la harina de pescado es extremadamente difícil debido a la ausencia de

descripciones completas de los ingredientes, (la definición completa, número internacional de alimento, el tipo de método de procesamiento empleado, el tamaño de la partícula antes de mezclar el alimento, composición química). Aún más el análisis comparativo entre laboratorios se complica debido al uso de diferentes técnicas para producción del alimento (peletizado, extruido, liofilizado, etc.), tipo de dieta (puras, semi-puras y prácticas), técnicas de alimentación (tasa fija o a saciedad, alimentación manual o mecánica/alimentadores automáticos, etc.), la fase de desarrollo de los peces (crías, juveniles, adultos), el periodo experimental (de varias semanas a un año) y finalmente el desempeño (peces con crecimiento rápido o lento, tasas bajas o altas de conversión alimenticia).

Composición Corporal de los Organismos

Son varios los autores que han atribuido cambios significativos en la composición corporal de los organismos alimentados con dietas conteniendo subproductos. De manera general se ha reportado una mayor cantidad de lípidos corporales y humedad, y una menor cantidad de cenizas y proteína que aquellos organismos alimentados con una dieta control a base de harina de pescado (Gallagher & Degani, 1988; Fowler, 1990; Fowler, 1991; Gallagher & LaDouceur, 1995; Hasan *et al.*, 1997).

Se ha argumentado que esto es a raíz de un exceso de lípidos en la dieta o bien a que la calidad de la proteína de los subproductos no era tan buena como la de la harina de pescado. Sin embargo, esto depende en definitiva de la calidad de los subproductos. Así por ejemplo, al utilizar harina de vísceras desgrasada por centrifugación e hidrolizada enzimáticamente y subproductos desgrasados y/o deshuesados, se encontró que el contenido de proteína no variaba (Higgs *et al.* 1979; Stephens, 1994; Gallagher & LaDouceur, 1995). Por otra parte esto también parece depender del porcentaje de inclusión de los subproductos (Kerns & Roelofs, 1977; Stephens 1994; Hasan *et al.*, 97)

Evaluación Económica de la Incorporación de harina de pluma en sustitución de harina de Pescado

En la actualidad, en nuestro país, no se producen harinas de un solo subproducto avícola. El inconveniente que se suscita al mezclar y transformar estos subproductos (piel cabeza, pico, vísceras, plumas, hueso y en algunos casos desperdicios de incubadora) es la variabilidad en los nutrientes de las harinas, por lo que su precio en el mercado generalmente tiende a fluctuar. Por ello, los resultados de los estudios que prueban y establecen mejores rutas de transformación y/o determinan el valor nutricional de estos subproductos en la alimentación animal (incluyendo los organismos acuáticos), justifican el decidido esfuerzo para su reincorporación a la producción animal.

Por otro lado, dentro del contexto nacional el único proceso de transformación que se aplica a los subproductos avícolas es la hidrólisis por cocción, ya sea en cogedores con vapor y presión o en quemadores de flama directa. La gama de materiales derivados de este tipo de subproductos tales como: harinas, concentrados proteicos, plumas vírgenes y vísceras por separado ó no, se comercializan de la siguiente manera:

1) Generalmente se lleva a cabo la venta de los rastros a los centros de acopio de pluma virgen con vísceras y cadáveres (en caso de solicitar algún subproducto por separado, el precio aumenta). Los subproductos transformados se venden en forma de harina en \$2,500

M.N./ ton, (Mendigaba, APELSA, *com. pers.*, 1998). En este caso las harinas contienen vísceras, cortes de piel, pluma y pelo. El contenido de proteína es de aproximadamente 65%. 2) Algunos rastros o pequeñas plantas de transformación que producen harinas a partir de estos subproductos las venden para la alimentación animal a un precio de \$2,800 a 3,000 M.N./ ton. (Morucho, O., Rastro Avícola, S.A. de C.V. *com. pers.*, 1998). En este caso las harinas están constituidas básicamente por pluma, vísceras y sangre. El contenido de proteína es de 65% y 70-75%, respectivamente.

Los precios mencionados son recientes (Noviembre de 1998), sin embargo están sujetos a la demanda y eventualmente se pueden elevar considerablemente, como ejemplo de ello, ya se mencionó que las harinas de pluma hidrolizadas adecuadamente por el método tradicional tienen menor variabilidad en sus nutrientes, lo que propicia una mayor demanda y precio en el mercado, el cual puede alcanzar de 200 a 290 U.S. DI. ó de \$ 2,000 a 2,900 M.N. (tipo de cambio, \$10.00 M.N./Doler).

Con el fin de contar con un parámetro de comparación en la Tabla 10 se presentan los costos de una tonelada de harina de pescado y de harina de pluma hidrolizada por cocción. En esta tabla se puede apreciar que el costo de la harina de pluma por tonelada representa apenas el 60% del costo de la harina de pescado.

Tabla 10. Comparación de costos de la proteína digestible de harina de pescado y harina de pluma.

Harinas	Proteína cruda (%) Base seca	Costo (\$M.N.)	Digestibilidad¹	CPPD² (\$M.N./kg)
Harina de pescado	72.48	5,000	90	7.66
Harina de pescado "Premium" Chilena	69.17	5,600	95	8.52
Harina de pluma hidrolizada por	76.9	3,000	78.7	4.96

¹ Los porcentajes de digestibilidad fueron tomados de Tacon (1989), Romero (1994) para la harina de pescado, la harina de pescado "Premium" y la harina de pluma, respectivamente. Y de un promedio de harinas de pluma y pelo de cerdo procesadas por diferentes métodos según Bureau (1996). ²CPPD= Costo por punto de proteína digestible. Los datos de la columna de costo por punto de proteína digestible (CPPD) se ajustaron con el siguiente calculo:

$72.48 \% \text{ PC} \times 90 \% \text{ de digestibilidad} / 100 = 65.232 \%$, que representan 652.32 kg de proteína digestible en una tonelada de harina de pescado, entonces para obtener el costo por kilogramo de dicha fracción, nutricionalmente eficiente, se realizó el cálculo siguiente:

$\$5,000 \text{ M.N.} / 652.32 \text{ kg} = \$7.66 \text{ M.N.} / \text{kg}$ de harina de pescado digestible.

Cabe hacer notar que no se conserva el diferencial de la magnitud porcentual entre los costos por tonelada ni de los CPPD's, de las harinas (40 y 46 % diferencia entre los costos por tonelada y 35.25 y 41.78 % diferencia entre los CPPD's), por ello observamos que al disminuir la digestibilidad del ingrediente aumenta en consecuencia su costo por kilogramo de proteína digestible.

A fin de apreciar las ventajas de la inclusión de un subproducto avícola en sustitución de un porcentaje de harina de pescado con miras a elaborar un ingrediente proteico, en la Tabla 11, se muestra la diferencia del costo entre tres ingredientes proteicos como son:

- 1) 100 kg de harina de pescado y
- 2) 100 kg de harina de pescado (normal) combinados con harina de pluma hidrolizada por cocción, a razón de 66:33, respectivamente.
- 3) 100 kg de harina de pescado (*Premium*, chilena) combinados con harina de pluma hidrolizada por cocción, a razón de 66:33, respectivamente.

Tabla 11. Comparación de costos de tres ingredientes proteicos

Ingrediente	Cantidad (kg)	\$ M.N./ kg	Costo Total \$ MN.
Harina de pescado "normal"	100	5	500
Harina de pescado "normal"	66.66	5	433.29
+ Harina de pluma hidrolizada por cocción	33.33	3	DIFERENCIA = 66.71
Harina de pescado "Premium"	100	5.6	560
Harina de pescado "Premium"	66.66	5.6	473.28
+ Harina de pluma hidrolizada por cocción	33.33	3	DIFERENCIA = 86.72

Observamos que a cantidades iguales de estos ingredientes la diferencia en el costo es de 13.34 y 15.48%, sin embargo, ésta es susceptible de fluctuar en función de su calidad nutricional y la variación anual de la demanda en el mercado. La diferencia del costo entre ambos ingredientes proteicos, se magnifica cuando el volumen del alimento que se maneja es considerable, sin embargo, lo anterior está sujeto a los resultados de la tasa de conversión alimenticia, porcentaje de sobrevivencia, tasa de crecimiento, etc.

Conclusiones

El descenso del suministro de proteínas animales y vegetales de alta calidad y el consecuente aumento en los precios de estas, ha incitado a los productores de alimento y a los acuicultores a la búsqueda de fuentes alternativas con características nutricionales aceptables y con un costo abordable. Una respuesta a esta situación se encuentra en la industria avícola la cual es fuente de una gran miscelánea de subproductos con un enorme potencial nutritivo, el cual queda de manifiesto siempre y cuando las tecnologías de transformación aplicadas propicien la bio-disponibilidad de sus nutrientes. Así el aprovechamiento de los desechos orgánicos generados por esta industria puede contribuir a la disminución del costo del nutriente más oneroso dentro de los alimentos balanceados para los organismos acuáticos: la proteína.

Para lograr esto, la sustentabilidad para la producción de alimentos debe prevalecer sobre el deseo de la rentabilidad a corto plazo. Eso permitirá que la acuicultura se convierta en una fuente importante y accesible de proteína para los países en vías de desarrollo.

Referencias:

- Adler, P. R., F. Takeda, D. M. Glenn and S. T. Summerfelt.** (1996). Utilizing byproducts to enhance aquaculture sustainability. *World Aquaculture*. 27: 24-26.
- Akiyama, D.** (1991). Soybean meal utilization by marine shrimp. Proceedings of the Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop. Thailand and Indonesia, September 19 -25, 1991. *American Soybean Association*. Akiyama, D. and R. Tan (eds.) pp 207 - 225.
- Alexis, M. N., Paparaskev E., Papoutsoglou and Theochari.** (1985) Formulation of practical diets for rainbow trout (*Salmo gairdneri*) made by partial or complete substitution of fish meal by poultry by-products and certain plant by-products. *Aquaculture*, 50:61-73.
- Anderson, J. S., D. A. Higgs., R. M. Beames and M. Rowshandeli.** (1997) Fish meal quality assessment for Atlantic salmon (*Salmo salar* L) reared in sea water. *Aquaculture Nutrition*. 3: 25-38.
- Anderson, R.G.** (1978) Bioeconomic assessment of a poultry sewage and tilapia aquaculture system. Master of Science Dissertation, Texas A & M University. pp.105.
- Anderson, J. S., D. A. Higgs., R. M. Beames and M. Rowshandeli.** (1996). The effect of varying the dietary digestible protein to digestible lipid ratio on the growth and whole body composition of Atlantic salmon (*Salmo salar*) (0.5 - 1.2 Kg) reared in sea water. West Vancouver, B. C., Departament of Fisheries and Oceans, Science Branch, Pacific Region West Vancouver Laboratory. 20 pp.
- Arndt,R.** (1994) Soybean meal as a protein source in the diets of chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*) and coho salmon (*O. kisutch*). Master in Science Dissertation, University of Washington, Seattle, 133 pp.
- Asgard, T. and E. Austreng** (1986). Blood ensiled or frozen, as feed for salmonids. *Aquaculture*, 55:263-284.
- Avault, J. W.** (1998). Basic types of pond fertilizers. *Aquaculture Magazine*, 24: 82-85.
- Balconi, Y.** (1990) Harina de carne y hueso: Requisitos para su uso óptimo. *Tecnología Avipecuaria*, Año 5, No. 48:10-11.
- Barlow, S. and I. Pike** (1992). Fish meal and oil production and markets 1990. Future developments. Memorias del Seminario Internacional sobre calidad de harinas de Pescado en Nutrición Animal Acuicola y Pecuaría, 16 - 17 de Noviembre, Monterrey, México. pp.10
- Barlow, S.** (1997). World fishmeal production, products and specifications. *World Aquaculture Society*, Book of Abstracts. 39.
- Bishop, C. D., R. A. Angus and S. A. Watts.** (1995). The use of feather meal as a replacement for fishmeal in the diet of *Oreochromis niloticus* fry. *Bioresource Technology*, 54: 291-295.
- Boghen, A.D. and Castell, J.d.** (1981) Nutritional value of different dietary proteins for juvenile lobster, *Homarus americanus*, *Aquaculture*, 22:334-351.
- Brunton, E. W.** (1992) Animal waste management an industry perspective. *American Society of Agricultural Engineers*: 23-26.
- Buenrostro-Rojas, A. L.** (1997). Subproductos de origen animal en la alimentación de bovinos productores de carne. Mexico, D. F., Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal, A. C. (AMENA). Año 3. No. 5, 12 pp.
- Bureau, D. P.** (1996) Nutritional value of rendered animal protein ingredients for salmonids in the 90'S. pp. 239-246 In: *The Canadian Feed Industry Association and 1996 Eastern Nutrition Conference*, May 15-17 1996 Dartmouth, Nova Scotia.
- Burgos, A., J. I. Floyd and E. L. Stephenson.** (1974). The amino acid content and availability of different samples of poultry by-product meal, and feather meal. *Poultry Science* 53: 198-203.
- Castro, L., A. Davis and D.C.R. Arnold** (1993) Evaluation of nutrient digestibility in red drum (*Sciaenops ocellatus*)., *World Aquaculture Society*, Torremolinos, España. Marine Fish-Poster.
- Cluet, D.** (1990) Advances in the manufacture of aquatic feeds by low cost extrusion. The necessity for technology transfer from the advanced user to the new user. *World Aquaculture Society Annual Meeting*, Halifax, Canada, 10 - 14 June, 1990. pp. 17.
- Chamberlain, G. and H. Rosenthal** (1995). Aquaculture in the next century: Opportunities for growth challenges of sustainability. *World Aquaculture*, 26: 21-25.
- Cho, C. Y. and S.J. Slinger** (1979). Apparent digestibility measurement in feedstuffs for Rainbow trout. *Proc. World Symp. on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology*, Vol. II Berlin pp. 239-247.

- Cho, C. Y. and S. J. Kaushik.** (1990). Nutritional energetics in fish: Energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *World Review of Nutrition and Dietetics*, 61: 132-172.
- Cho, C.Y., S.J. Slinger and H.S. Byley** (1982) Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity. *Comp. Biochem. Physiol. B*, 73:25-41.
- Cook, H. and H. Clifford** (1988). Fertilization of shrimp ponds and nursery tanks. *Aquaculture Magazine*, May/June: 52-62.
- D'Abramo, L. and T. Lovell** (1991). Aquaculture research needs for the year 2000: fish and crustacean nutrition. *World Aquaculture*, 22:57-62.
- Davis, D.A., D. Jirsa and C.R. Arnold** (1995). Evaluation of soybean proteins replacements for menhaden fish meal in practical diets for the Red drum *Sciaenops ocellatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 26: 48-58
- De La Higuera, M.** (1985). Fuentes de proteína y de energía alternativas en acuicultura. Trabajo presentado en el seminario sobre avances tecnológicos y necesidades en acuicultura, organizado por la ASA / Madrid en Sep. 1985. 8 pp.
- Degani G.** (1986). Dietary effect of lipid source, lipid level and temperature on growth of glass eels (*Anguilla anguilla*). *Aquaculture*, 56: 207-214.
- Dong, M.F., R.W. Hardy, F.N. Haas, F.T. Barrows, B. Rasco, W. Fairgrieve and I. Forster.** (1993) Chemical composition and digestibility of poultry by-product meals for salmonid diets. *Aquaculture*. 116: 149-158.
- El-sayed, A. M.,** (1994). Evaluation of soybean meal, spirulina meal and chicken offal meal as protein sources for silver seabream (*Rhabdosargus sarba*) fingerlings. *Aquaculture*, 127: 169-176.
- Flegal, C. and H. Zindel** (1970). The utilization of poultry waste for growing chicks. Michigan State University, Agricultural Experiment Station. Research report No. 117. pp 21-28.
- Fowler, L.** (1980) Substitution of soybean and cottonseed products for fish meal in diets fed to chinook and coho salmon. *Prog. Fish-Cult.*, 42:87-91.
- Fowler, L. G.** (1990) Feather meal as a dietary protein source during parr-smolt transformation in fall chinook salmon. *Aquaculture*, 89:301-314
- Fowler, L. G.** (1991) Poultry by-product meal as a dietary protein source in fall chinook salmon diets. *Aquaculture*, 99:309-321.
- Fowler, J.** (1973). Poultry pointers. *Southwestern Poultry Times*, April 14
- Gallagher, M. L., and G. Degani.** (1988). Poultry meal and poultry oil as sources of protein and lipid in the diet of European eels (*Anguilla anguilla*). *Aquaculture* 73: 177-187.
- Gallagher, M.I. and M. LaDouceur** (1995). The use of blood meal and poultry products as partial replacement for fish meal in diets for juvenile Palmetto bass (*Morone saxatilis* x *M. chrysops*). *Journal of Applied Aquaculture*, 5(3):57-65.
- Gannam, A., H. Phillips and G. Ludwig** (1992). Weight gain, feed conversion and body composition of hybrid striped bass fed diets containing various lipid sources. *Aquaculture* 92. Abstract.
- Gaylord, T.** (1995). Determination of digestibility coefficients of various feedstuffs for red drum (*Sciaenops ocellatus*). Texas A&M University, College Station, TX., 41 pp.
- Geddes, R. B.** (1991). Regulatory programs. *Poultry Science*, 70: 1115-1117.
- Gill, C** (1989) Protein from poultry wastes. Reprint from the January, 1989 issue of *Feed Management*. pp. 51-54.
- Gregory, B. R., O. H. M. Wilder and P. C. Ostby.** (1956). Studies on the amino acid and vitamin composition of feather meal. *Poultry Science*: 234-235.
- Hajen, W.E., D.A. Higgs, R.M. Beames and B.S. Dosanjh** (1993) Digestibility of various feedstuffs by post-juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in sea water. 2. Measurement of digestibility. *Aquaculture*. 112: 333-348.
- Halver, J.** (1989). *Fish Nutrition*, 2nd, edn. Halver, J. (ed.). Academic Press, New York, pp 485-490
- Haque, A.K., J.J. Lyons and J.M. Vandepopuliere** (1991) Extrusion processing of broiler starter diets containing ground whole hens, poultry by-product meal, feather meal, or ground feathers. *Poultry Science*, Vol. 70: 234-240.
- Hardy, R.W.** (1991) Fish hydrolysates. Production and use in aquaculture feeds, in: *Proceeding of aquaculture feed processing and nutrition workshop*. De. Dean M. Akiyama and Ronnie K.H. Tan. Thailand and Indonesia, 19-25/Sep/1991. American Soybean Association. pp. 109-115.

- Hardy, R. W.** (1997). Sustainable aquaculture and aquaculture feeds. *Aquaculture*, 23: 72-77.
- Hardy, R. W.** (1998). Back to the future. *Aquaculture*, 24: 78-81
- Harvey, J.D.** (1992) Changing waste protein from a waste disposal problem to a valuable feed protein source. A role for enzymes in processing offal, feathers and dead birds. Biotechnology in the feed industry. *Proceedings Alltech's Eight Annual Symposium*. T. P. Lyond (ed.) Oakville, Ontario, Canada, pp. 109-119
- Hasan, M. R., S. J. Roy and P. M. Das.** (1990). *Fish Nutrition*, Evaluation of poultry offal meal as dietary protein source for the fry of Indian major carp *Labeo rohita* (Hamilton), World Aquaculture Society Annual Meeting, Halifax., Canada. T29.7.
- Hasan, M. R., M. S. Haq., P. M. Das and G. Mowlah.** (1997). Evaluation of poultry-feather meal as a dietary protein source for Indian major carp, *Labeo rohita* fry. *Aquaculture*, 151: 47-54.
- Higgs, D. A., Markert, J. R., Macquarrie, D. W., McBride, J. R., Dosanjh, B. S., Nichols, C. and Hoskins, G.** (1979). "Development of practical dry diets for coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*), using poultry by-product meal, feather meal, soybean meal and rapeseed meal as major protein sources." In : *J.E. Halver and K. Tiews (Editors), Finfish Nutrition and Fish Feed Technology*. Vol.11: 191-218.
- Higgs, D. A., B. S. Dosanjh., A. F. Prendergast., R. M. Beames., R. W. Hardy., W. Riley and G. Deacon.** (1995). Use of rapeseed/canola protein products in Finfish diets. In: *Nutrition and Utilization Technology in Aquaculture*. C. Lim & D. Sessa (eds.), AOCS Press, Champaign, IL. 11: 130-156.
- Higgs, D., B. Dosanjh, R. Beames, A. Prendergast, S. Satoh, C. Lim, G. Kissil, S. Mwachireya and G. Deacon** (1997). *World Aquaculture Society*, Book of Abstracts. 235
- Hopkins, J. S.** (1996). Aquaculture sustainability: avoiding the pitfalls of the green revolution. *World Aquaculture*, 27: 13-15.
- Hughes, S.** (1990) Feather meal can displace fish meal in aquaculture rations. *Feed International*. 15: 13-15.
- Jang, H. and S. Bai** (1977) Partial replacement of fish meal with four animal by-products in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, diets. *World Aquaculture Society*, Book of Abstracts. No. 35
- Jauncey, K., and Ross, B.** (1982) A Guide To Tilapia Feeds and Feeding. Institute of Aquaculture University of Stirling Scotland, 26:27.
- Jory, D. E.** (1998). Shrimp aquafeeds in commercial production ponds. *Aquaculture Magazine* 24: 65-68.
- Kearns, C. and E. Roelofs** (1977). Poultry wastes in the diet of Israeli carp. *Bamidgeh*, 29:125-135.
- Kearns, P. J.** (1990) Método Wegner para la extrusión de alimentos acuícolas, In: *Memorias del seminario sobre "Extrusión de Alimentos Balanceados"*, Editado por la Asociación Americana de la Soya, Guadalajara, Jal., México, pp 23-39.
- Kearns, J., G. Huber, W. Dominy and D. Freeman** (1988). Properties of extrusion cooked shrimp feeds containing various commercial binders. Presented at the *World Aquaculture Society* 19th Annual Conference. January 4-8 Waikiki, Hawaii, pp.15.
- Keembiyehetty, C.** (1995). Amino acid nutrition of sunshine bass. Ph.D. Dissertation. Texas A&M University, College Station, TX. 82 pp.
- Kiang, M-J.** (1990). La extrusión como herramienta para mejorar el valor nutritivo de los alimentos; Memorias del seminario, 'Extrusión de Alimentos Balanceados', Editado por Asociación Americana de Soya, Guadalajara, Jal., México, p.p. 23-39.
- Kikuchi, K., Furuta, T. and Honda, H.** (1994) Utilization of feather meal as a protein source in the diet of juvenile Japanese flounder. *Fisheries Science*. Vol. 60(2): 203-206.
- Kikuchi, K., H. Honda and M. Kiyono.** (1993). Effect of dietary protein source on growth and nitrogen excretion of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) World Aquaculture Society, Torremolinos, España. 400.
- Koops, H., K. Tiews, J. Gropp and A. Schwalb-Buhling** (1982) Further results on the replacement of fish meal by other protein feed-stuffs in pelleted feeds for rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Arch. Fischereiwiss.* 32: 59-75.
- Lan, C. and B. Pan** (1993) *In vitro* digestibility simulating the proteolysis of feed protein in the midgut gland of grass shrimp (*Penaeus monodon*). *Aquaculture*, 109:59-70.
- Lawrence, A. and P. Lee** (1997). Research in the Americas. In: *Crustacean Nutrition, Advances in World Aquaculture*. D'Abraham, L., D. Conklin & D. Akiyama (eds.) The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA. Vol.6:567-587.

- Lawrence, A.L. and F. Castille** (1991) Nutritional response of a western hemisphere shrimp, *Penaeus vannamei*, to meat and bone, feather and poultry by-products meals. *Fats and Protein Research Foundation, Inc. Directors Digest*. 215: 54-56.
- Lillie, R. J., J. R. Sizemore and C. A. Denton.** (1956). Feather meal in chick nutrition. *Poultry Science*, 35: 316-318.
- Lim and Dominy** (1989). Evaluation of soybean meal as a replacement for marine animal protein in diets for shrimp (*Penaeus vannamei*). Draft. 22pp.
- Lochman, R. and H. Phillips** (1995). Comparison of rice bran oil, poultry fat, and cod liver oil as supplemental lipids in feeds for channel catfish and golden shiner. *Journal of Applied Aquaculture*, Vol.5(3):47-55
- Lovell, R.T.** (1991). Aquaculture Research Needs for the Year 2000 : Fish and Crustacean Nutrition. *World Aquaculture*. 22(2) : 57 -63.
- Lovell, R.T.** (1992). Fish farming: designing protein sources for tomorrow's world. *Biotechnology in the feed industry, Proceedings Alltech's eight annual symposium*. T.P. Lyond (ed), pp 236-252.
- Lovell, T.** (1996). High feed prices in 1996 will affect feeding strategies. *Aquaculture Magazine*. 22: 95-98.
- Lu, J. D. and N. R. Kevers** (1975). "The feasibility of using waste materials as supplemental fish feed. *Progressive Fish Cult.* 37: 241-244.
- Lyons, P.** (1992) From waste to feed through Enzyme Technology. *Feed International*. 2: 9-12.
- Manik, R., K. Mintardjo and S. Adisukresno** (1977). Potential protein sources of supplementary feeds formulated for shrimps and prawns in Jepara. *Bull. Brackishwater Aqua. Dev. Cent.*, III (1+2): 223-226.
- McCasland, W. E.** (1965). Nutritive value of hydrolyzed feather meal. Master in Science Dissertation, Texas A&M University, College Station, TX., pp 46.
- McCoy, H.** (1990). Fishmeal - The critical Ingredient in Aquaculture. *Aquaculture Magazine*, March / April, 1990 : 43 - 50.
- Menassa, S. A.** (1982) Les farines de plumes, leur valeur nutritionnelle en relation avec les traitements physico-chimiques et enzymatiques. Aspects de leur valorisation en tant que protéines de substitution en alimentation animale. Tesis de doctorado en veterinaria, Universidad de Paul Sabatier en Toulouse, Francia, pp 67.
- Mendoza, A. R., A. De Dios, E. Cruz y A. Del Angel** (1995) Análisis de la transformación de la pluma cruda como fuente de proteína para *Penaeus vannamei*. 46^o Congreso Anual del P.F.T., 5-8 de febrero de 1995. Mazatlan, México.
- Mendoza, R., J. Montemayor and J. Verde** (1997) Biogenic amines and pheromones as feed attractants for the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture Nutrition*, 3:167-173.
- Mendoza, R., J. Montemayor, C. Aguilera C. Martinez and I. Abdo** (1998) Evaluation of the attraction potential of feather meal and meat solubles and binding capacity of meat solubles in crustacean diets. Reporte de Contrato para Baker Commodities Inc., pp.20
- Mendoza, A. R., C. Aguilera, C. Vázquez, J. Montemayor, E. Cruz y D. Rique** (1998) Utilización de harina de pluma cruda como fuente de proteína para *Penaeus vannamei*. III Symposium de Ciencia y Tecnología. 28-29 de mayo de 1998. Monterrey, N.L. México.
- Middleton T. F., P. R. Ferket, R. J. Hines, H. V. Daniels, and L.C. Boyd** (1988) The Use of Poultry Mortality Silage as a Bait for the Harvesting of Red Swamp Crawfish (*Procambarus clarkii*) and Blue Crabs (*Callinectes sapidus*). *Abstracts Poultry Science Association* August 2-5, 1998, 305
- Miller, B.** (1984). Extruding hatchery waste. *Poultry Science*, 63:1284-1286.
- Moran, E., J. Summers and S. Slinger** (1966) Keratin source of protein for the growing chick. *Poultry Science*, 45:1255-1257
- Naber, E. and C. Morgan** (1956). Feather meal and poultry meat scrap in chick starting rations. *Poultry Science*, 35:888-895.
- Nabil, W.** (1993) Extrusion of secondary resources (by-products rendering). Feed extrusion. Triple "F" Inc. In: *Feeds Extrusion manual a practical short course in feed extrusion*. Texas A&M University System, Collage Station, TX. Lusas, E., G. Guzman & S. Doty Eds. January, 1993, pp: 11.
- Nambi, J., Mbugua, P. N. and Mitaru, B. N.** (1992). The nutritive evaluation of dried poultry excreta as a feed ingredient for broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 37: 99-109.
- New, M.** (1996). Responsible use of aquaculture feeds. *Aquaculture Asia*, 1(1): 315
- New, M.** (1997). Aquaculture and the capture fisheries. *World Aquaculture*, June, 1997:11-30

- New, M. and Y. Csavas** (1995). A summary of aquafeed production in eleven Asian countries. In: *Farm made aquafeeds*. FAO Fisheries Technical paper 343. New, M., A. Tacon & I. Csavas (eds). pp. 397-419.
- O'Sullivan, D. and D. Watson** (1991). Nutrition focus for workshop. *Austasia Aquaculture*, 5:12-27.
- Papadopulos, M., A. El Boushy and E. Ketelaars** (1985). Effect of different processing conditions on amino acid digestibility of feather meal determined by chicken assay. *Poultry Science*, 64:1729-1741.
- Pfeffer, E., S. Kinzinger and M. Rodehutsord.** (1995). Influence of the proportion of poultry slaughter by-products and of untreated or hydrothermally treated legume seeds in diets for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), on apparent digestibilities of their energy and organic compounds. *Aquaculture Nutrition* 1: 111-117.
- Pillay, T. V. R.** (1996). The challenges of sustainable aquaculture. *World Aquaculture*, 27: 7-9.
- Pongmaneerat, J. and T. Watanabe** (1993). Nutritional evaluation of soybean meal for rainbow trout and carp. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59(1):157-163.
- Pope, C.** (1991). Poultry Production's Environmental Impact on Water Quality. *Poultry Science*, 70:1123-1125.
- Ratafia, M.** (1995). Aquaculture today: a worldwide status report. *World Aquaculture*, 26: 18-24.
- Reigh S. and S. Ellis** (1992). Effects of dietary soybean and fish-protein rations on growth and body composition of red drum (*Sciaenops ocellatus*) fed isonitrogenous diets. *Aquaculture*, 104:279-292.
- Reynnells, R. D.** (1991). Symposium: The impact of the poultry industry on water quality. *Poultry Science*, 70: 1113-1114.
- Robinson, E.** (1990). Use of cottonseed meal in catfish feeds. *Aquaculture Magazine*, March-April issue : 65 - 68.
- Rockey, G. And G. Huber** (1993). Extrusion processing of aquatic feeds. In: *Feed extrusion manual a "Practical Shortcourse in Feed Extrusion"* Lusas E., G. Guzman and S. Duty (eds). Texas A&M University, College Station, TX. 13 pp.
- Rumsey, G. L.** (1993). Fish meal and alternate sources of protein in fish feeds update 1993. *Aquaculture* 18(7): 14-19.
- Sanders, K.M.** (1992). Better aquaculture feeds, *Seafood Leader*, Chap, 90-A, Jan/Feb, pp 111-119.
- Santiago, C. & T. Lovell** (1988). Amino acid requirements for growth of Nile tilapia. *J. Nutr.*, 118:1540-1546.
- Sarac, H. Z., M. Gravel., J. Saunders and S. Tabrett.** (1993). Evaluation of Australian protein sources for diets of the black tiger prawn (*Penaeus monodon*) by proximate analysis and essential amino acid index. *World Aquaculture Society*. 167.
- Schulz, D., W. Hartfiel and E. Greuel** (1982) Verwendung von Nebenprodukten tierischer Herkunft in der Ernährung von Regenbogenforellen (*Salmo gairdneri*, R.). y. Einsatz von Blut- und Federmehl in einer gereinigten Diät. *Z. Tierphysiol. Tierernähr. Futtermittelkd.*, 47: 79-85.
- Shiloh, S. and S. Viola** (1973) Experiments in the nutrition of carp growing in cages. *Bamidgeh*, 25(1):17-31.
- Sibbald, I. R., S. J. Slinger and W. F. Pepper** (1962). The utilization of hydrolyzed feather meal by growing chicks. *Poultry Science*: 844-849.
- Spinelli, J., C. Mahnken and M. Steinberg** (1979). Alternate sources of protein for fishmeal in salmonid diets. Proceedings of the World Symposium on Fish Nutrition and Fishfeed Technology, Hamburg 20-23 June, 1978, Germany. pp.131-142.
- Spyridakis, P., R. Metailler, J. Gabaudan and A. Riaza** (1989) Studies on nutrient digestibility in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). 1. Methodological aspects concerning faeces collection. *Aquaculture*, 77:61-70.
- Steffens, W.** (1992). Replacing fish meal by means of poultry by-products meal in diets for salmonids. V *International Symposium on Fish Nutrition and Feeding*, Santiago de Chile. Sept.7-10: 8.
- Steffens, W.** (1994) Replacing fish meal with poultry by-product meal in diets for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*. 124: 27-34
- Stephens, J. F., J. K. Bletner and O. E. Goff.** (1959). Fractions of hydrolyzed feather meal in broiler diets. *Poultry Science*. 38: 1249.
- Stickney, R. and L. Simmons** (1977). Growth responses of *Tilapia aurea* to feed supplemented with dried poultry waste. *The Texas Journal of Science*, Vol. XXIX (1-2), September. pp.93-99.
- Stickney, R. R., R. W. Hardy., K. Koch., R. Harrold., D. Seawright and K. C. Massee.** (1996). The effects of substituting selected oilseed protein concentrates for fish meal in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* diets. *World Aquaculture Society*, 27: 57.

- Sudaryono, A., M. Hoxey, G. Kailis and L. Evans** (1995). Investigation of alternative protein sources in practical diets for juvenil shrimp *Penaeus monodon*. *Aquaculture* 134:313-323.
- Sullivan, T. and E. Stephenson** (1957). Effect of processing methods on the utilization of hydrolyzed poultry feathers by growing chicks. *Poultry Science*, 36:361-365.
- Tacon, A. G. J.** (1984). Feed ingredients for carnivorous fish species: Alternatives to fishmeal and other fishery resources. Rome, *FAO Fisheries Circular*.: 89-114.
- Tacon, A.G.J.** (1988) The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp - a training manual 3, Feeding methods FAO Field Document, Projet GCP/RLA/075/ITA, Field Document 7/E, FAO, Brasilia, Brazil.
- Tacon, A. G. J.** (1996). Feeding tomorrow's fish. *World Aquaculture*. 27: 20-32
- Tacon, A. and A. Jackson** (1985) Utilization of conventional and unconventional protein sources in practical fish feeds. In : *Nutrition and Feeding in Fish*. Academic Press, London. Cowey, A. , M. Mackie and J.Bell (eds.) : 119 – 145
- Tacon, A.G. and D.M. Akiyama** (1997) Feed Ingredients, In: *Crustacean Nutrition, Advances in World Aquaculture*. D'Abramo, L., D. Conklin & D. Akiyama (eds.) *The World Aquaculture Society*, Baton Rouge, LA. Vol.6: 411-472
- Tadtiyanant, C., J. J. Lyons and J. M. Vandepopulire.** (1989). Utilization of extruded poultry mortalities and feathers in broiler starter diets. *Poultry Science Association, Abstracts of papers*.68 (Supl. 1): 145.
- Tadtiyanant, C., J. J. Lyons and J. M. Vandepopuliere.** (1993). Extrusion processing used to convert dead poultry, feathers, eggshells, hatchery waste, and mechanically deboned residue into feedstuffs for poultry. *Poultry Science*. 72: 1515-1527
- Tellez, S.R.** (1982). Utilización de la harina de pollo como fuente de proteína en la alimentación animal. Tesis de Licenciatura UANL, Facultad de Agronomía. pp 4-7.
- Tiews, K., J. Groop and H. Kroop,** (1976). On the development of optimal rainbow trout pellet feeds. *Arch. Fisch-Wiss.*, 27 (Beih.1): 1-29.
- Tiews, K., H. Koops, J. Gropp and H. Beck** (1979) Compilation of fish meals free diets obtained in rambow trout (*Salmo gairdneri*) feeding experiments at Hamburg (1970-1977/78). In: J.E. Halver and K. Tiews (Editors), *Finish Nutrition and Fish Feed Technology*, Vol. 2. Heenemann, Berlin, pp. 219-228.
- Vandepopuliere, J.** (1976). Convert hatchery wastes into feedstuffs. *Poult. Digest*, 35:247-248
- Voss, B. and W. Nellen** (1985). Effects of fishmeal replacement in turbot feeds by other protein sources. *International Council for the Exploration of the Sea, Mariculture Comitee.*, C.M. 1985/F:55, 10p.
- Webster, C. and J. Tidewell** (1992). Use of distillers by-products in aquaculture diets. *World Aquaculture* 23 (4) : 55 - 57.
- Wessels, J. P. H.** (1972). A study of the protein quality of different feather meals. *Poultry Science*. 51: 537-541.
- Wilson, R.P.** (1994). Requerimientos de aminoácidos en peces. Memorias del Segundo Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. UANL-Asociación Americana de Soya. R. Mendoza, L. Cruz y D. Ricque (eds.). Monterrey, México. 7-9 Noviembre, pp. 283-300.
- Wisman, E. L., C. E. Holmes and R. W. Engel.** (1958). Utilization of poultry by-products in poultry rations. *Poultry Science*. 37: 834-838.
- Woodroffe, J. M.** (1993) Dry extrusion applications in the feed industry. American Soybean Association, Technical Bulletin. AQ40 1993/5:1-16.
- Yousif, O. M. and G. A. A.** (1993). The use of dried poultry waste in diets for fry and young tilapia (*Oreochromis aureus*). *Bioresource Technology*. 45: 153-155.