

FUENTES ALTERNATIVAS DE PROTEINAS VEGETALES COMO SUBSTITUTOS DE LA HARINA DE PESCADO PARA LA ALIMENTACION EN ACUICULTURA

Carlos Antonio Martínez Palacios María Cristina Chávez Sánchez*,
Miguel Angel Olvera Novoa**, María Isabel Abdo de la Parra*.*

*** Unidad de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Acuicultura y Manejo
Ambiental del CIAD, A.C. Av. Sábalo Cerritos s/n, Estero del Yugo. AP. 711 Mazatlán,
CP. 82010, Sinaloa, México.
Tel. (69) 880 159/58 Fax. (69) 880 159
E-mail: ciadmzt@mail.red2000.com.mx**

**** Centro de Investigación y Estudios Avanzados, Unidad Mérida. Km 6. Antigua
Carretera a Progreso, AP. 73- Cordemex, CP. 97310 Mérida, Yucatán, México
tg
Tel: (99) 81-2905 x 261
Fax: (99) 81-2917
E-mail: molvera@kin.cieamer.conacyt.mx**

RESUMEN

Los organismos acuáticos como peces y crustáceos tienen altos requerimientos de proteína, consecuentemente, para su alimentación se utilizan alimentos ricos en ese nutriente. La harina de pescado se ha usado tradicionalmente como el principal recurso; sin embargo, su alto costo y el incremento en la demanda de la creciente acuicultura, así como en la alimentación de organismos terrestres cultivados, han hecho que se dediquen esfuerzos para buscar fuentes alternas de proteínas convencionales y no convencionales. El presente trabajo hace una revisión a la búsqueda de fuentes alternas de proteínas vegetales que substituyan a la harina de pescado parcial o totalmente en la alimentación acuícola. Se concentra la información disponible sobre oleaginosas, leguminosas, plantas acuáticas, otras plantas superiores, algas y proteínas de origen microbiano como hongos, bacterias y levaduras. Se discuten al final los avances logrados, la problemática y otras alternativas de investigación.

INTRODUCCION

La acuicultura como una actividad intensiva es relativamente nueva si la comparamos con la agricultura y la ganadería y tiene como objetivo coadyuvar a satisfacer la demanda mundial de

proteína animal a través del cultivo de organismos acuáticos. Proporciona además fuentes de empleo y en el caso de especies de alto valor comercial, ganancias en divisas para los países productores. Sin embargo, esta tecnología ha crecido tanto en las dos últimas décadas que actualmente se pueden ver los efectos sobre el medio ambiente, así como la competencia por el uso del agua y del suelo con otras empresas productivas. Otro efecto importante que no escapa a la vista, es la competencia por la materia prima para producir los alimentos, que también son utilizados para la alimentación humana y animal.

Actualmente, la acuicultura y la ganadería dependen en suministro proteico de las pesquerías y la agricultura pues basan su producción en la harina de pescado y en segundo término en harina de soya. Sin embargo, la producción de harina de pescado a nivel mundial se ha mantenido más o menos constante con un promedio de 6,500,000 toneladas de 1986 a 1990 (Barlow, 1989; Barlow y Pike, 1992). La producción de harina de pescado a nivel mundial para 1993 fue de 6,185,778 toneladas (FAO, 1995 In: Tacon, 1996). Se espera que las necesidades de harina de pescado por la industria de la acuicultura para el año 2000, sea el doble (Barlow, 1989) mientras que, la demanda de alimento acuícola para el mismo año será de 6.6 millones de toneladas (Akiyama, 1993). Si la acuicultura va a seguir con la tasa de crecimiento que ha tenido en estas últimas dos décadas, necesariamente se va a ver limitada a corto plazo por la falta de recursos proteicos, lo que ocasionará que la acuicultura en muchos lugares del mundo no sea una actividad sostenible y rentable. Por lo anterior, se han realizado esfuerzos por optimizar los métodos de alimentación y por buscar fuentes alternas de proteínas convencionales y no convencionales derivadas de productos vegetales, subproductos de la agricultura, ganadería y de la industria, que tiendan a ser amigables con el medio ambiente.

El presente trabajo muestra una revisión de la información relacionada con los esfuerzos realizados por varios investigadores en el mundo, que buscan fuentes alternas de proteínas de origen vegetal que puedan substituir parcial o totalmente a la harina de pescado. En esta revisión no se incluye lo reportado por New, Tacon y Casavas (1993) por considerarse un excelente trabajo que reúne la información acerca de las estrategias económicas de alimentación y la producción de alimentos. Los autores hacen énfasis en la producción de alimentos hechos en las propias granjas en las que utilizan la materia prima disponible en países como Bangladesh, Cambodia, India, China, Indonesia, Malasia, Nepal, Filipinas, Tailandia y Vietnam y en los cuales se utilizan una gran variedad de proteínas de origen vegetal. Tacon (1993a, b y 1994) hace tres revisiones sobre las proteínas alternativas y otros recursos para peces de agua dulce, peces carnívoros y crustáceos. Este autor reúne un gran número de datos en tablas, en donde se informa con detalle, la composición proximal, composición de aminoácidos esenciales y limitantes de los materiales usados, así como un excelente resumen sobre los niveles de inclusión (%) de los diferentes ingredientes alimenticios comúnmente usados en dietas prácticas. Se recomienda ampliamente la lectura de estos documentos para ampliar lo expuesto en la presente revisión que complementa las anteriormente citadas, les da actualidad e incorpora nuevas alternativas.

Por último, la utilización de altos porcentajes de harina de pescado necesariamente incrementan la aportación de fósforo disponible al ambiente, debido a los altos valores que la harina de pescado posee y que no son aprovechados por los peces y crustáceos. De la misma

manera los fitatos de las plantas ponen a disposición del medio ambiente el fósforo no aprovechable por los organismos en cultivo. Dietas mejor diseñadas deben de generarse para evitar el impacto al medio ambiente que afecta la calidad del agua en la que se desarrollan los organismos.

OLEAGINOSAS

Los subproductos de semillas oleaginosas son las proteínas vegetales más ampliamente utilizadas en la alimentación animal, por su alto contenido de proteína, su amplia disponibilidad y su costo generalmente menor al de la harina de pescado (Taylor y Berk, 1981). Una ventaja de las oleaginosas es que debido a que la utilización primaria es para obtener aceites, la pasta derivada de ese proceso incrementa su valor proteico en términos de porcentaje de peso seco, y en consecuencia su uso para la acuicultura resulta adecuado. Dos desventajas ocurren con el uso de pastas de soya: 1) la ganadería y la avicultura compiten por este producto con la acuicultura y 2) la calidad nutricional de la soya va a depender del proceso utilizado para neutralizar los antinutrientes.

Entre las oleaginosas se incluyen las harinas y pastas de semillas de soya, algodón, colza, girasol, ajonjolí, cacahuete y copra. El procesamiento a que se someten las semillas para la extracción del aceite da lugar a variaciones en el contenido de lípidos residuales, además de una posible reducción de la disponibilidad o digestibilidad de la proteína por el tratamiento térmico aplicado. El contenido de aminoácidos de estas plantas oleaginosas comparadas con caseína, gelatina y harina de pescado han sido presentadas por el National Research Council (1977), en ella se observan los aminoácidos deficientes en cada uno de ellas. Lim y Dominy (1993), hacen una evaluación de las proteínas de plantas utilizadas en peces de agua dulce, entre las que analizan soya y algodón, una importante cantidad de información se deriva de ese estudio.

Glycine maxima (soya). Dentro de los ingredientes vegetales, la soya es cada vez más común en la alimentación de organismos acuáticos por su composición química, perfil de aminoácidos, (con excepción de la metionina y en menor grado la lisina como aminoácidos limitantes, Tacon et al., 1983), elevado contenido de vitaminas y menor costo al de la harina de pescado (Bressani y Elias, 1980; Akiyama, 1992). Sin embargo, contiene factores antinutricionales que afectan su valor nutricional y reducen la palatabilidad de los alimentos cuando se preparan con niveles elevados de este material (Tacon et al., 1983; Webster et al., 1992b). Su principal antinutriente es un inhibidor de la tripsina, seguido por el ácido fítico, hemaglutininas, goitrógenos e inhibidores de las proteasas. Sin embargo, diversos tratamientos con calor como tostado, extrusión y peletización inactivan o eliminan exitosamente estos antinutrientes (Lim y Akiyama, 1993). (Tabla No. 2).

El uso de semilla sin un tratamiento que inactive los antinutrientes resulta en bajo crecimiento y pobre utilización de la proteína cuando se incluye en alimentos para carpa, bagre, trucha y salmón (Fowler y Banks, 1976; Fowler, 1980; Viola et al., 1983; Abel et al., 1984; Wilson y Poe, 1985). Su eficiencia mejora después de tratarla con calor seco (micronización; 118<F128M>É<F255D> C) durante 2.5 min. o por 30 min. con calor húmedo (vapor 90-

95<F128M>É<F255D> C), ya que se inactivan los antinutrientes sin afectar la disponibilidad de lisina, además de reducirse la solubilidad de la proteína en el agua; el tratamiento húmedo resulta particularmente benéfico para disminuir la actividad del inhibidor de tripsina (Abel et al., 1984). Experimentalmente se ha observado que dietas con altos niveles de tripsina generan desórdenes en el hepatopáncreas.

En la alimentación animal la soya se utiliza como harina integral o desengrasada. La soya integral es un ingrediente adecuado en alimentos para trucha (*Oncorhynchus mykiss*), carpa común (*Cyprinus carpio*), salmón del Atlántico (*Salmo salar*), Tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) y bagres (*Ictalurus punctatus*, *I. furcatus*). Después de ser tratada para inactivar los antinutrientes puede substituir entre 30 y 75% de la proteína animal (Reinitz et al., 1978; Lovel, 1980; Tacon et al., 1983; Abel et al., 1984; Robinson, 1989; Wilson y Poe, 1985; Wee y Shu, 1989; Shiau et al., 1990; Van den Ingh et al., 1991; MoOyano et al., 1992; Gómez et al., 1995; Kaushik et al., 1995). En salmón del Atlántico (*Salmo salar*) se ha demostrado que la aglutinina de la soya se adhiere al intestino incrementando el efecto tóxico de la soya integral y de los productos de soya en dietas para esta especie (Hendriks et al., 1990) (Tabla No. 4).

La harina desengrasada se ha usado como ingrediente en alimentos para salmón (*Salmo salar*), trucha (*Oncorhynchus mykiss*), carpa, bagre, carpa herbívora (*Ctenopharingodon idella*), tilapia (*Oreochromis spp.*), mojarra castarrica (*Cichlasoma urophthalmus*), tambor rojo (*Scianops ocellatus*), milkfish (*Chanos chanos*) y mojarrón (*Sparus aurata*; *Megalobrama skolkovii*), sustituyendo en algunos casos hasta el 100% de la harina de pescado (Tabla No. 4). Sin embargo, se ha observado que altos niveles de inclusión generalmente han resultado en bajo crecimiento debido a deficiencia de aminoácidos y energía; así como, a la presencia de antinutrientes y baja digestibilidad de los carbohidratos para algunas especies. Algunos autores han evaluado la suplementación de las dietas con metionina, triptofano y lisina con resultados variables; sin embargo, al menos el bagre azul (*I. furcatus*) presenta crecimiento adecuado con dietas en 100% de soya fortalecida con 0.9% de metionina. Otra alternativa es el uso de la soya combinada con otra proteína para balancear las deficiencias de cada componente proteico, lográndose substituir el 100% de la harina de pescado en dietas para bagre de canal (*I. punctatus*). Se recomienda también suplementar con aceite como energía y con fósforo para aliviar su alto contenido de fitatos (Andrews y Page, 1974; Dabrowska y Wonjo, 1976; Wu y Jan, 1977; Davis y Stickney, 1978; Dabrowski y Kozak, 1979; Jackson et al., 1981, 1982; Viola et al., 1981/1982; Santiago et al., 1982; Tacon et al., 1983; Viola y Arieli, 1983; Viola y Zohar, 1984; Alexis et al., 1985; Law, 1986; Martínez-Palacios, 1988; Shiau et al., 1988; Shiau et al., 1989; Viola et al., 1988; Mohsen y Lovell, 1990; Shiau et al., 1990; Olli et al., 1995; Webster et al., 1992a,b, 1995; Haiqing y Xiqin, 1994; Oliva-Teles et al., 1994; Davis et al., 1995; Robaina et al., 1995) (Tabla No. 4).

La harina de soya también ha sido probada en dietas para camarón. Lawrence et al., (1986) no encontraron diferencias significativas en el crecimiento y sobrevivencia de varias especies de camarón (*Penaeus vannamei*, *P. aztecus*, *P. duorarum*, *P. setiferus*, *P. schmitti*, *P. stylirostris*) (Tabla No. 4) alimentados con una dieta comercial que contenía 10% de inclusión de harina de soya y alimento experimental con inclusiones del 40 al 50% durante 12 semanas en condiciones

de laboratorio. Los autores mencionan que es posible que se puedan incrementar los niveles en los estanques de tierra en donde existe una productividad natural y los micronutrientes como ácidos grasos esenciales, vitaminas y minerales no sean limitantes. Si esto es así, la utilización de soya en lugar de harina de pescado o camarón es altamente significativo en la reducción de costos por alimento en algunos países en donde la harina de soya tiene precios menores a la harina de pescado. Carver et al. (1988) procesaron cabezas de camarón, vísceras de calamar y soya extrudizada. La coextrusión de desechos de vísceras de animales marinos con soya crearon una proteína de alta calidad, de muy bajo costo. Posteriormente Lim y Dominy (1993) evaluaron el remplazo de proteína animal por soya y encontraron que el crecimiento se redujo conforme se incrementó la inclusión de soya a 42, 56 y 70%, la ingestión de alimento se redujo en las dietas con 56 y 70%, el contenido de humedad se incrementó en los camarones alimentados con 70% de soya y el fósforo del cuerpo se redujo considerablemente a niveles superiores de 42% de inclusión de soya. Se concluyó por lo tanto que la soya no puede substituir totalmente a la proteína de origen animal.

Lo anterior es corroborado por Dominy y Lim (1993) cuando probaron harina de soya extruída sola y mezclada con calamar en dietas para camarón (*P. vannamei*) y observaron que el mejor resultado se obtuvo con la dieta con soya/calamar en proporción 40/60 en la que no hubo diferencias significativas en los resultados con dietas a base de 50/50 soya/calamar e inclusive tuvieron mejores conversiones alimenticias que con 44% de pasta de soya extruída. Recomiendan que extruir y secar una proteína vegetal con vísceras húmedas de calamar puede ser un método de procesamiento recomendado para mejorar una proteína vegetal ya sea para ser usada como un ingrediente para alimentos de camarón o como un alimento completo. Por otro lado, la harina de soya integral doblemente extruída para los camarones fue comparable al de la soya comercial extraída por solventes y reconstituída con aceite de soya. Sin embargo, la cantidad de soya integral puede ser limitante debido a su alto contenido de aceite y a la naturaleza de sus ácidos grasos, los cuales en altos niveles pueden causar imbalance de energía y de ácidos grasos esenciales (Lim and Dominy, 1993).

Gossipium spp. La harina de algodón es muy popular en alimentos para bagre por su alto valor nutritivo y buena palatabilidad. Su calidad es menor a la de la harina de soya por su contenido de gossipol que reduce la disponibilidad de lisina, aún cuando los peces soportan niveles altos gracias al elevado contenido de proteína en su dieta (Tabla No. 2); sin embargo, se recomienda el uso de variedades de algodón sin glándula de pigmento o de harinas desengrasadas con solventes para evitar su presencia (Robinson et al., 1984 a, b; Robinson y Daniels, 1987; Robinson, 1989).

La inclusión de la semilla de algodón sin glándula de pigmento en dietas para bagre y tilapia ha dado buenos resultados, con eficiencias semejantes a las de la soya, sin embargo, el uso de la semilla sin desengrasar provoca reducción en el crecimiento, lo cual se atribuye a la presencia de ácidos grasos ciclopropenóicos (Robinson et al., 1984 a, b; Robinson y Daniels, 1987; Robinson, 1989).

Las tilapias utilizan eficientemente la harina de algodón con bajos niveles de gossipol, obteniéndose rendimientos adecuados con substituciones del 100% de la harina de pescado

(Jackson et al., 1982; Viola y Zohar, 1984). Sin embargo, se observa retardo en el crecimiento con niveles de inclusión superiores al 50%, atribuida a deficiencia de aminoácidos, en especial lisina. (Robinson y Brent, 1989; Robinson y Tiersch, 1995). La pasta de algodón causa mayores problemas en las tilapias por su contenido de gopipol (Ofojekwu y Ejike, 1984). A pesar de ello, El-Sayed (1990) obtuvo resultados aceptables al substituir el 100% de la harina de pescado con harina decorticada de algodón para alimentar a niloticus (Tabla No. 4).

El bagre (*Ictalurus punctatus*) soporta concentraciones de gopipol cercanas a 100 ppm (Robinson y Daniels, 1987). Robinson y Brent (1995) recomiendan incluirla en un 15% para no afectar el crecimiento de esta especie. La harina de algodón posee mejor calidad que la soya integral como alimento para los salmones (*Oncorhynchus kisutch* y *tshawytscha*), resultando en crecimientos y sobrevivencias similares a los obtenidos con harina de pescado cuando se incluye 22-34% de harina de algodón en su dieta (Fowler y Banks, 1976; Fowler, 1980) (Tabla No. 4).

En un experimento para determinar los efectos de diferentes productos vegetales y animales, sobre el salmón chinnoque (*Oncorhynchus tshawytscha*), Fowler y Banks (1976) substituyeron harina de arenque por harina de algodón en proporciones de 30.8: 24.6 y 20.5: 39.2% respectivamente. Estos autores observaron que los peces alimentados con los niveles más altos de harina de algodón pesaron significativamente menos que los organismos alimentados con la dieta testigo y que no hubo diferencia en la deposición de proteína y grasa comparada con la dieta control. Histológicamente, los peces mostraron degeneración de las células del hígado y el epitelio de las branquias se encontró hinchado. La harina de algodón para esta especie esta limitado a 30% reemplazando solamente 7.5% de la proteína de harina de pescado.

Helianthus annuus. La harina de semilla de girasol presenta un valor nutricional equivalente al de la harina de soya aún cuando tiene un alto contenido de fibra (Tabla No. 3). Posee el mayor contenido de aminoácidos sulfurados entre las oleaginosas; sin embargo, la composición de la harina varía con la calidad de la semilla y el método de extracción del aceite. La harina de semilla decorticada es un material rico en proteína y con buena digestibilidad, pero requiere de suplementación con lisina y energía cuando se usa en cantidades elevadas en los alimentos para monogástricos. Se considera adecuada para usarse en la alimentación de peces, como complemento de otras proteínas de buena calidad y bajo nivel de antinutrientes (Tacon et al., 1984; Martínez-Palacios, 1986) (Tabla No. 4).

Se ha demostrado que la harina de girasol puede substituir el 25% de la harina de pescado en dietas para tilapia (*mossambicus*) o incluirse 25% en dietas para trucha (*Oncorhynchus mykiss*) sin resultados adversos, observándose crecimientos semejantes a los que produce la harina de soya con inclusiones de hasta 35%. Sin embargo, niveles elevados afectan el crecimiento debido a una disminución en la digestibilidad, baja palatabilidad y probable imbalance de aminoácidos (Jackson et al., 1982; Tacon et al., 1984; Sanz et al., 1994) (Tabla No. 4).

Arachis hipogea. La harina de cacahuate o maní posee un adecuado valor nutricional (Tabla

No. 3) aún cuando es deficiente en algunos aminoácidos, baja palatabilidad y puede contener aflatoxinas (Tabla No. 1). Los resultados obtenidos con alimentos para tilapia y carpa, indican que no se debe de incluir más del 25%, ya que afecta el crecimiento. La carpa tiene una capacidad mayor para utilizar esta proteína que la de otras oleaginosas, mientras que la tilapia exhibe una capacidad de utilización similar entre este material, la soya y la copra (Jackson et al., 1981, 1982; Robinson et al., 1984b). (Tabla No. 4). Haiqing y Xiqin (1994), probaron pasta de cacahuete y pasta de colza en dietas para brema (*Megalobrama skolkovii* Dybowski) para sustituir a la harina de pescado. Los resultados indicaron que es posible la incorporación de estos recursos proteicos arriba de 42 y 21% respectivamente, y que cuando se usan a niveles arriba de 45 y 27%, hay una reducción en los parámetros nutricionales, posiblemente debido a un balance de aminoácidos especialmente deficiencias de metionina y lisina y/o la presencia de factores antinutricionales (Tabla No. 2).

Cocos nucifera (copra). El uso de la copra en la alimentación de peces es limitado debido a su alto contenido de fibra. Las tilapias y la carpa común la toleran en su alimento, pero es la tilapia quien la utiliza mejor debido a una mayor capacidad para digerirla. Sin embargo, su nivel de inclusión no debe de exceder el 25% para no afectar el crecimiento por un balance de aminoácidos y reducción en la digestibilidad. La carpa herbívora es más eficiente para utilizarla, aceptando hasta 30% en su dieta (Tabla No. 4). Estos niveles pueden variar según el contenido de proteína del alimento y el sistema de cultivo empleado (Guerrero, 1980; Jackson et al., 1981; Law, 1986).

Brassica napus, B. campestris. La colza o canola posee una adecuada calidad nutricional (Tabla No. 3); sin embargo, su contenido de antinutrientes limita su uso en dietas para peces. La inclusión de 25% de proteína de colza ha dado resultados favorables en dietas para salmón (*tshawytscha*), mientras que niveles del 20% no afectan el crecimiento de la trucha juvenil o adulta (Tabla No. 4); sin embargo, los peces pequeños son susceptibles al efecto de sus antinutrientes (Higgs et al., 1982; Hardy y Sullivan, 1983).

Este material no afecta el crecimiento de tilapia (*mossambicus*) cuando se incluye hasta un nivel de 50% en su dieta (Jackson et al., 1982), observándose que lo reduce a niveles superiores debido a sus antinutrientes (Tabla No. 2). Por el contrario, Davies et al. (1990) observaron reducción del crecimiento de tilapia con 5% de proteína de colza, mientras que Dade et al. (1990) no encontraron ninguna diferencia con 8% de inclusión, lo que indica que las variaciones se relacionan con el tipo de semilla y su contenido de antinutrientes.

Sesamum indicum. La harina de ajonjolí presenta adecuada calidad nutricional (Tabla No. 3), principalmente cuando se mezcla con otros ingredientes ricos en lisina. La pasta de ajonjolí es bien aceptada por los animales, sin embargo, se ha observado que niveles altos causa pérdida de grasa corporal en cerdos, sabor desagradable en la carne de ganado y actúa como laxante. El ajonjolí posee un elevado contenido de ácido fólico (Tabla No. 2), lo que da lugar a problemas asociados a deficiencias de minerales, por lo que se recomienda fortalecer las dietas con Fe, Cu, Ca, Zn y Mg (Viola et al., 1988; Göhl, 1991; Torre et al., 1991).

Este material se considera un adecuado sustituto para la soya en la nutrición animal (Opsivedi

et al., 1992). Hossain y Jauncey (1989) así como Hossain et al. (1992), evaluaron la digestibilidad del ajonjolí como única proteína en dietas para carpa común (*C. carpio*) y *mossambicus* respectivamente, observando resultados inferiores a los de la soya, semilla de lino, semilla de mostaza y harina de pescado, lo cual se atribuyó a los altos niveles de ácido fítico.

PROTEINAS VEGETALES DE ORIGEN UNICELULAR

Dependiendo de su origen, las proteínas unicelulares son ricas en proteína (Tabla No. 3) y vitaminas. Son altamente termoestables, se pueden producir a partir de desechos agroindustriales y se pueden cultivar en sistemas continuos en pequeñas instalaciones y en períodos muy cortos gracias a su breve tiempo de generación, además de que se puede controlar su composición según el medio de cultivo y por manejo genético (Tabla No. 1). Entre las proteínas unicelulares utilizadas en dietas para peces se encuentran levaduras, bacterias, hongos filamentosos, microalgas y lodos activados.

Su uso en alimentación animal está limitado por su alto contenido de ácidos nucleicos y de material indigerible, deficiencia de aminoácidos sulfurados y la posible presencia de contaminantes derivados del medio de cultivo; adicionalmente, su costo de producción puede limitar su competencia con proteínas convencionales (Tacon, 1978/1979; Dabrowski et al., 1980; Kaushik y Luquet, 1980; Mahnken et al., 1980; Soeder, 1980; De la Higuera et al., 1981; Taylor y Berk, 1981; Sánchez-Muñiz et al., 1983; Tacon y Jackson, 1985; Murray y Marchant, 1986) (Tabla No. 4).

Levaduras

Candida spp. Estos microorganismos son ricos en proteína y vitaminas del complejo B. Se usan en alimentación animal como un suplemento para compensar deficiencias de aminoácidos y vitaminas de los cereales. Se les considera como un material apropiado para la alimentación animal, por su facilidad de producirse a partir de una gran variedad de substratos ricos en carbono, incluyendo pulpa de cítricos, melazas, desechos de la industria papelera, madera sacrificada y desperdicios de frutas (*Candida utilis*), e inclusive hidrocarburos (*Candida lipolytica*). Su calidad nutricional varía según su origen considerándose que las cultivadas en alcanos podrían ser de mejor calidad que las producidas a partir de carbohidratos. Adicionalmente, es factible utilizar en la alimentación animal a los subproductos de la industria cervecera y licorera (*Saccharomyces cerevisiae*) (Gohl, 1991).

Los salmónidos toleran sustituciones del 25 al 50% de la harina de pescado con *Candida spp.* y se observa ligera reducción en el crecimiento en el nivel de inclusión más alto, que es evitada mediante la adición de metionina. Aparentemente la deficiencia de aminoácidos sulfurados restringe el uso de las levaduras; sin embargo, hay otros factores que limitan su utilización entre los que se mencionan su alto contenido de ácidos nucleicos y de materia indigerible, particularmente carbohidratos, así como la presencia de contaminantes (metales pesados, etc.) derivados del medio en que se cultive la levadura (Matty y Smith, 1978; Spinelli et al., 1979; Kaushik y Loquet, 1980; Mahnken et al., 1980; De la Higuera et al., 1981; Taylor y Berk, 1981; Sánchez-Muñiz et al., 1983; Tacon y Jackson, 1985; Murray y Marchant, 1986) (Tabla No. 4).

Candida tropicalis, *C. utilis* y *C. lipolytica*. Se ha demostrado que su inclusión en dietas para carpa común da lugar a mejores resultados a los obtenidos con soya, harina de carne y harina de sangre, con conversiones alimenticias adecuadas y buena digestibilidad. Así mismo, resulta positiva la inclusión de 62-88% de *C. lipolytica* y *C. utilis* en la dieta para larvas de carpa, combinada con harina de pescado y subproductos animales. En el caso de la tilapia (*Oreochromis aureus*) se observó que su cría tiene una baja capacidad para utilizar levaduras en dietas con 25% de proteína en sistemas estáticos (Wu y Jan, 1977; Atack et al., 1979; Hecht y Viljoen, 1982; Dabrowski et al., 1983; Alami-Durante et al., 1991) (Tabla No. 4).

Los solubles de destilería del whisky no afectan el crecimiento de la trucha arco iris a niveles de inclusión de hasta 50% de la proteína. El bagre por su parte, acepta hasta 70% de este material sin efectos adversos en su crecimiento, siendo posible substituir totalmente la harina de pescado en su dieta con una mezcla de solubles de destilería y harina de soya. Se considera además que sería económicamente viable utilizar solubles de destilería del ron como único alimento para tilapia, en lugar de la fertilización de los estanques (Kohler y Pagan-Font, 1978; Murray y Marchant, 1986; Webster et al., 1991, 1992b).

Adicionalmente, las levaduras pueden utilizarse como alimento seco para crías de tilapia, coregónidos, carpa herbívora y bagre africano, considerándose equivalente a una dieta microencapsulada rica en proteína y vitaminas (Appelbaum, 1978; Kohler y Pagan-Font, 1978; Appelbaum y Uland, 1979; Hecht, 1981).

Hansenula anomala. Estas levaduras puede provocar problemas metabólicos a los peces (Tabla No. 2). Estudios realizados con trucha alimentada con ésta levadura metanofílica, demostraron reducción de la tasa de alimentación y crecimiento, atribuida a una baja aceptabilidad de la dieta, aunada a la acumulación de metabolitos nitrogenados derivados del catabolismo de nucleótidos (De la Higuera et al., 1981; Sánchez-Muñiz et al., 1983).

Phaffia rhodozyma. Esta levadura de la familia Cryptococcaceae es de particular interés para la acuicultura, porque además de sus factores nutricionales asociados como son proteínas, lípidos, vitaminas y minerales típicos de las levaduras, también tiene factores de crecimiento, atrayentes y lo más importante contiene el carotenoide astaxantina (Tabla No. 1), el cual es un constituyente particular de esta levadura ya que es biosintetizada durante su ciclo normal de vida. Sanderson y Jolly (1994) alimentaron juveniles de trucha arco iris (*O. mykiss*) con un peso inicial de alrededor de 250 g durante 84 días. Los resultados indicaron que la cantidad de astaxantina en la carne de las truchas era dependiente de la dosis y del tiempo de alimentación. Los mismos autores explican otros beneficios potenciales de la astaxantina en el cultivo de peces tales como el efecto en la calidad de huevos y sobrevivencia de larvas, como agente antioxidante, como recurso de vitamina A, como factor importante para el metabolismo intermediario del hígado de los peces e importante para la sobrevivencia de los camarones.

PROTEINA BACTERIANA

Methylophilus methylotropus. Esta proteína unicelular conocida como “Pruteen” y cultivada en metanol (Taylor y Berk, 1981), ha sido también considerada para sustituir a la harina de pescado en los alimentos para peces gracias a su elevada calidad nutricional. La carpa crece eficientemente con dietas a base de este material, con resultados mejores a los obtenidos con caseína o harina de pescado. Se ha visto también que la trucha presenta un crecimiento similar al obtenido con harina de pescado, cuando se incluye hasta 60% de proteína de pruteen en su dieta. Esta bacteria puede reemplazar arriba del 75% de la proteína animal en dietas para salmónidos y alrededor del 50% en dietas para tilapia (Atack et al., 1979; Kaushik y Luquet, 1980; Tacon y Jackson, 1985).

Micrococcus glutamicus. Los subproductos farmacéuticos bacterianos tienen un valor nutricional adecuado para la Tilapia aurea (*O. aureus*), con resultados similares a los obtenidos con dietas comerciales. Se ha demostrado que la bacteria *Micrococcus glutamicus*, utilizada en la producción industrial de lisina, puede sustituir el 20% de la proteína en dietas para tilapia (*O. mossambicus*), mientras que la *Pseudomonas* spp. causa reducción en el crecimiento de la trucha arco iris (*O. mykiss*). (Kohler y Pagan-Font, 1978; Matty y Smith, 1978; Davies y Wareham, 1988) (Tabla No. 4).

Brevibacterium lactofermentum* y *Bacterium glutamicum. Adultos de trucha arco iris fueron alimentados con estas dos proteínas unicelulares secas y esterilizadas en autoclave en dos experimentos con inclusiones de 0, 4, 8 y 16% de sustitución de harina de pescado. Los resultados indicaron que las inclusiones de 4 a 16% de *Brevibacterium lactofermentum* no influenciaron significativamente la tasa de crecimiento, conversión alimenticia, composición del cuerpo e índices hepatosomático y gonadosomático. Mientras que la proteína de *Bacterium glutamicum* tuvo los mismos resultados en una proporción del 4%, pero a niveles mayores causó una marcada reducción en la tasa de crecimiento y eficiencia alimenticia. Los resultados también indicaron que es posible que la proteína de *B. glutamicum* es menos digerible y/o tiene algún factor antinutricional que no tiene la de *B. lactofermentum* (Kiesling y Askbrandt, 1993).

HONGOS FILAMENTOSOS

Los hongos son un importante potencial en la alimentación de peces, dada su calidad nutricional y la facilidad de cultivarse en residuos celulósicos (Taylor y Berk, 1981; Tacon y Jackson, 1985) (Tabla No. 1).

Geotrichum candidum. Dabrowski et al. (1980) reemplazaron con éxito en dietas para trucha hasta el 50% de la harina de pescado con este hongo filamentoso cultivado en solubles de destilería del whisky; sin embargo sustituciones mayores (75 y 100%) provocaron efectos adversos sobre el crecimiento atribuidos a deficiencia de aminoácidos, particularmente sulfurados, lisina e histidina, así como también problemas asociados a bajos niveles de Ca y Mg y deficiencias energéticas por un bajo contenido de lípidos.

MICROALGAS

Las microalgas son una buena alternativa para la alimentación animal, ya que pueden satisfacer la totalidad de sus requerimientos nutricionales aún cuando son pobres en energía (Göhl, 1991). Su producción industrial es costosa pero su cultivo en aguas residuales podría abaratar el proceso (Taylor y Berk, 1981), además de que algunas se pueden obtener como subproductos industriales, (Tabla No. 1).

Spirulina spp. Alga filamentosa característica de lagos someros salinos y alcalinos de aguas cálidas de África y América. Su velocidad de crecimiento es mayor a la de cultivos agrícolas y cercana a la de otros microorganismos como levaduras y bacterias, duplicando su biomasa en 3-5 días. Bajo estas condiciones se pueden producir 25 ton/ha/año del alga, equivalentes a 15 ton de proteína (Santillán, 1979; Richmond, 1988; Göhl, 1991). En general su perfil de aminoácidos es bueno, sin embargo, es deficiente en aminoácidos sulfurados y triptofano. Es rica en ácidos grasos de la serie linoléica y linolénica; contiene cantidades importantes de pigmentos (clorofila a, carotenoides y xantofilas, ficobiliproteínas, c-ficocianina y aloficocianina), y extremadamente rica en tiamina, niacina, piridoxina y cianocobalamina; contiene niveles importantes de pantotenato de calcio, ácido fólico, inositol, β -carotenos (provitamina A) y tocoferoles (E). Su contenido de ácidos nucleicos es bajo en comparación a otros microorganismos (Richmond, 1988). Todas estas características hacen que mejore la condición y sanidad de peces alimentados con esta microalga (Mustafa et al., 1994).

La espirulina como alimento para peces determinó un bajo crecimiento en carpa y trucha sin harina de pescado (Matty y Smith, 1978; Atack et al. (1979), mientras que Henson (1990) obtuvo incrementos notables en el crecimiento del salmón al suplementar su dieta con 2.5% del alga. En general, su adición en pequeñas cantidades en la dieta de peces produce efectos significativos sobre el crecimiento, utilización del alimento, condición fisiológica, respuesta al estrés, resistencia a enfermedades, así como calidad de la carne en cuanto a contenido de grasa y coloración (Hirano y Suyama, 1985; Mori et al., 1987; Chow y Woo, 1990; Watanabe et al., 1990; Mustafa et al., 1994; Mustafa y Nakagawa, 1995) (Tabla No. 4).

Clorella vulgaris. Esta alga unicelular con altos nivel de proteína ha sido empleada en alimentos para *reochromis niloticus* en combinación con otros recursos proteicos, la utilización con *C. vulgaris* causó pérdida de peso. El incremento en lipofuscinas en los hepatocitos y la alteración de la estructura de estos se encuentra bastante relacionado a la alimentación con esta alga (Orachunwong et al. 1988; Tabthipwon et al., 1988)

Cladophora glomerata. Esta alga filamentosa verde-azul crece extensivamente en estanques de agua dulce. Frecuentemente es un problema cuando hay una excesiva floración ya que impide la navegación. Cuando se degrada produce un olor ofensivo junto con la reducción de oxígeno provocando la muerte de gran cantidad de peces (Appler y Jauncey, 1983). El empleo de esta alga como ingrediente en la dieta de los peces ha dado resultados variables. Por ejemplo esta alga fue proporcionada a crías de tilapia *O. niloticus* en diversas proporciones con harina de pescado-alga. Los resultados indicaron que se puede usar como sustituto parcial de la harina de pescado; sin embargo, la inclusión de 50% en la dieta provocó reducción del crecimiento, aún cuando la tasa de conversión alimenticia fue adecuada, su utilización dependerá de la evaluación de costos

de cosecha y procesamiento. Se requieren más estudios para evaluar esta proteína junto con otros recursos proteicos de valor nutricional similar.

Hydrodictyon reticulatum. *O. niloticus* y *Tilapia zillii* alimentados con esta alga también filamentosa, presentaron bajo crecimiento, pero podrían ser rentables las sustituciones de hasta 33% de ésta proteína en dietas comerciales (Appler y Jauncey, 1983; Appler, 1985).

Mycrocystis aeruginosa. Tiene un alto contenido de proteína y es un buen alimento para larvas de tilapia (*O. niloticus*); sin embargo, cuando se otorga en altos niveles puede disminuir el crecimiento. Gorham (1964 in Tabthipwon et. al., 1988) menciona que esta alga verde azul puede ser tóxica, lo cual puede explicar los efectos adversos en el crecimiento de estos organismos; sin embargo, la mezcla de *M. aeruginosa* con pellets para carpa mejoran significativamente el crecimiento (Tabthipwon et al., 1988)

LODOS ACTIVADOS

El valor nutricional de este complejo de microorganismos es equivalente al de la levadura cervecera o cereales ricos en proteína, pero se recomienda precaución en su uso ya que pueden reducir la palatabilidad y digestibilidad de la dieta (Tabla No. 1). Orne et al., (1979) compararon el efecto de la inclusión de un lodo activado obtenido de una planta de tratamiento de efluentes de una fábrica de papel en dietas para trucha, donde sustituye parcial o totalmente a la harina de pescado, de soya y de algodón, con las cuales se formó una mezcla proteica. No observaron efectos adversos de la inclusión de 17, 19, 25 y 50% del lodo activado con la dieta, aún cuando el mejor crecimiento se obtuvo con las dietas sin lodo activado y con 17% del material, esta última dieta conteniendo solamente harina de pescado (18%), lodos activados (17%) y harina de algodón (20%) como ingredientes proteicos. Tacon y Jackson (1985) señalan que diversos autores han obtenido resultados promisorios al alimentar truchas con dietas conteniendo lodos activados derivados de plantas de tratamiento de efluentes de fábricas de papel, cervecerías y aguas domésticas; sin embargo destacan la necesidad de realizar más investigaciones a fin de evaluar la factibilidad comercial de su uso en la alimentación de peces. Son también un suplemento adecuado en dietas para trucha, mientras que las carpas aceptan inclusiones de 40 a 70% de la proteína con este material, con mejores resultados al los obtenidos con harina de semilla de algodón (Tacon, 1978/1979; Tacon y Ferns, 1978/1979; Anwar et al., 1982; Tacon, 1987). Koops et al., (1982) encontraron que solamente el 5% de lodos activados domésticos causaron reducción en la conversión alimenticia y el crecimiento de truchas, indicando claramente que este recurso no es un sustituto apropiado para esta especie.

CONCENTRADOS DE PROTEINA FOLIAR

El empleo de concentrados proteicos en alimentos acuícolas es una buena alternativa para la utilización de forrajes y semillas en dietas para peces, ya que eliminan el problema de su alto contenido de fibras y el de su bajo nivel proteico que impide su uso directo. La producción de concentrados de proteína foliar es una alternativa de alimentación importante para los trópicos,

donde es posible tener condiciones favorables para el crecimiento de las plantas durante todo el año. La producción de proteína foliar puede exceder a la de granos o carne por unidad de área, ya que en una hectárea se obtienen en un año alrededor de 4,000 kg. de concentrados de proteína de alfalfa, 510 -785 kg. de proteína de soya (en grano), 262 kg. de proteína de maíz (en grano), o alrededor de 29 kg. de proteína como carne de res (Kinsella, 1970; Nagy et al., 1978; Vinconneau, 1979; Humphries, 1980; Roe y Bruemmer, 1980; FAO, 1983; Tacon y Jackson 1985).

El contenido de proteína foliar seco es elevado, pero depende del método de extracción. Su perfil de aminoácidos está relacionado con el del vegetal de donde se extrae, aún cuando su balance es muy constante independientemente de su origen. El perfil de aminoácidos es muy parecido entre plantas y las diferencias relativas en el vegetal, se deberán a la presencia de otros elementos los cuales se eliminan durante el proceso de concentración de la proteína (Göhl, 1991). Su valor biológico se sitúa entre la harina de soya y la leche. Su costo de producción es elevado y en el mejor de los casos no excede al de la producción de harinas animales, pero es superior al de las harinas de oleaginosas (Kinsella, 1970), lo que limita actualmente su uso a nivel comercial.

En la alimentación de los peces ha dado resultados variables según su origen. Atack et al. (1979) obtuvieron bajo crecimiento en carpas alimentadas con dietas a base de concentrado de proteína de soya, mientras que Higgs et al. (1982) observaron rendimientos similares a los obtenidos con harina de pescado, cuando incluyeron hasta 24% de concentrado de proteína de colza en dietas para salmón (*O. tshawytscha*). Teskeredi et al. (1995) sustituyeron hasta 66% de la proteína con este material sin afectar el crecimiento de la trucha. Ogino et al. (1978) determinaron que el crecimiento y la eficiencia de utilización del alimento no fueron afectados cuando truchas y carpas recibieron 43% de un concentrado proteico de pasto (*Lolium sp.*), al igual que Stickney et al. (1996) no encontraron diferencias en el crecimiento cuando incluyeron 50% de concentrado proteico de soya ó 25% de concentrado proteico de semilla de girasol en dietas para trucha (Tabla No. 4).

PLANTAS SUPERIORES

Leguminosas. Son los vegetales más ampliamente utilizados como alimento animal debido principalmente a su alto contenido proteico (Bressani y Elias, 1980). De las plantas utilizadas por el hombre, sólo las gramíneas son más importantes que las leguminosas. Las semillas de leguminosas se consideran los suplementos naturales de los cereales, ya que sus niveles generalmente altos de lisina compensan su deficiencia en las gramíneas, mientras que éstas subsanan la insuficiencia de aminoácidos sulfurados de las leguminosas. Su calidad nutricional varía debido a la presencia de antinutrientes (NRC, 1979; Tacon, 1987; Bressani y Elias, 1980; Liener, 1980; Nowacki, 1980; Van der Poel, 1990) (Tablas No. 1 y 2).

Leucaena leucocephala. Esta leguminosa tropical es de rápido crecimiento, resistentes a la sequía y con una gran variedad de usos comparada con otras leguminosas (Lim y Dominy, 1993). La harina de hojas de *Leucaena* contienen 29% de proteína cruda en base seca y se usa en los trópicos para alimentar ganado y aves. Sin embargo, su uso esta limitado por la presencia del

aminoácido mimosina y la carencia de algunos aminoácidos esenciales (Tabla No. 2). La harina de hojas de *Leucaena* se ha probado en alimentos para tilapia con resultados variables. Su inclusión en la dieta provoca reducción en el crecimiento y baja eficiencia de conversión alimenticia debido al efecto tóxico del aminoácido libre mimosina y a su deficiencia de aminoácidos sulfurados. Cuando se remoja durante 48 horas y se seca al sol se mejora su calidad nutricional, siendo entonces posible sustituir hasta 25% de la proteína animal sin efectos adversos notables (Jackson et al., 1982; Wee y Wang, 1987).

***Canavalia ensiformis* y *Sesbania grandiflora*.** La inclusión de harina de semillas de éstas dos leguminosas en dietas para tilapia, provocaron reducción en el crecimiento, atribuido a la presencia del aminoácido libre L-canavanina (Tabla No. 2) y de la lectina concanavalina. Sin embargo, si la *Sesbania* se remoja durante 12 horas se reduce el efecto adverso, siendo entonces posible incluir hasta 25% de la proteína con esta semilla. Este tratamiento no elimina totalmente su toxicidad que genera todavía mortalidad elevada y bajo crecimiento, debido probablemente a deficiencia de aminoácidos; la semilla de *canavalia* remojada en agua y tratada con soluciones de etanol y ácido sulfúrico presenta baja toxicidad y adecuada calidad nutricional (Martínez-Palacios et al., 1988; Olvera et al., 1988) (Tabla No. 4).

***Lupinus albus*.** La semilla de *Lupinus* reemplaza hasta 30% de la proteína animal en dietas para trucha suplementadas con lisina y metionina, mientras que puede incluirse hasta 40% de su harina en el alimento con resultados adecuados (De la Higuera et al., 1988; Hughes, 1988, 1991; Morales et al, 1994).

***Brassica napus*, *B. campestris*.** La semilla de colza (nabo o canola) contiene altos niveles de proteína de excelente calidad; y su composición de aminoácidos se compara favorablemente con la de la soya. Sin embargo, contiene altos niveles de fibra, y glucosinolatos y otros constituyentes fenólicos que afectan a la glándula tiroidea y causan hemorragias en el hígado, además de fitatos y taninos. Se ha investigado el uso como alimento en vertebrados superiores y se ha visto que durante los procesos de extracción de aceite los efectos antinutricionales se pueden reducir significativamente (Dabrowski et al., 1982). En Canadá se han desarrollado variedades genéticas de las dos especies que contienen bajos niveles de glucosinolatos y a estas variedades siendo conocidas como harina de canola (Higgs et al., 1982).

Al incluir esta harina en la dieta del salmón (*Onchorhynchus kisutch*) ésta harina causó una reducción significativa del crecimiento e hiperplasia de la tiroidea, incremento en la grasa corporal y reducción en la utilización alimenticia y a niveles altos, el rechazo al consumo (Higgs et al., 1982). Posteriormente en un trabajo con el salmón chinok, se probaron dietas a base de canola procedente de las dos especies de nabo (*B. campestris* y *B. napus*). Los resultados indicaron que la harina de nabo genéticamente seleccionada con bajos niveles de glucosinolatos proporciona recursos proteicos adecuados como suplemento alimenticio para esta especie. El crecimiento de estos peces son buenos cuando se incluye de 13 a 16% de proteína (equivalente a 16-20% de materia seca) de harina de nabo tipo canola. Niveles entre 30 y 32% (25% de proteína dietaria) no se espera que reduzcan el crecimiento de los peces debido a que los niveles de glucosinolatos

son menos de 300 mg/g y chinok puede soportar niveles más altos. Sin embargo, las dietas se deben suplementar con tri-iodo tironina y tal vez tirosina para contrarrestar los efectos del glucosinolato (Higgs et al., 1982) (Tabla No. 4).

Cuando se usa harina de colza en dietas para carpa los resultados mostraron que el material esta bien balanceada en términos de proteína y contenido de energía para ésta especie. Sin embargo, en dietas con altos niveles de glucosinolatos, se incrementó el nivel de lípidos en el cuerpo y se observó reducción del crecimiento. En este trabajo, se usaron harinas de colza que contenían diferentes niveles de glucosinolatos y con adición de fósforo para reducir el problema de los fitatos. Los resultados mostraron que las dietas contenían altos niveles de los aminoácidos esenciales que cubrían los requerimientos de la carpa y que se puede sustituir el 50% de la harina de pescado se puede substituir por harina de canola. Se observó que el efecto en carpas depende de la inactivación de la mirosinasa (Dabrowski y Kolowska, 1981). Los efectos histológicos de esta harina sobre la glándula tiroides de las carpas fueron menos pronunciados que los observados en trucha y solamente se observó un ligero alargamiento de las células como una respuesta a la actividad goitrogénica del glucosinolato, por lo demás los peces estuvieron normales (Dabrowski, et al., 1982).

Vicia faba. La utilización de harina de haba, como sustituto proteico en dietas para trucha (*Onchorrhynchus kisutch*) puede ser hasta de un 45% siempre y cuando sea adicionado a la dieta con 2.13% de cistina, 2.32% de lisina y 2.82% de arginina (Koops et al., 1982).

SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES

Los subproductos agroindustriales poseen cierta calidad nutricional que puede aprovecharse para alimentar peces. La pulpa de café se ha incluido en dietas para tilapia, con resultados favorables con niveles de hasta 30% del material en su alimento. Mientras que la carpa común y el bagre africano (*Clarias mossambicus*) presentaron reducción en su crecimiento cuando se incluyó 30% de pulpa de café en su alimento (Bayne et al., 1976; Christensen, 1981).

Teobroma cacao. Algunos materiales pueden utilizarse como alimento suplementario, como en el caso de la pasta de cacao, la cual se ha usado como alimento suplementario para alimentar tilapias (*Tilapia guineensis*) a razón del 5% de la biomasa del estanque por día, con resultados aceptables. El menor crecimiento registrado en comparación a una dieta comercial se debe a la presencia del alcaloide teobromina, el cual se elimina parcialmente durante el proceso de fermentación a que se somete la semilla de cacao, quedando valores residuales de 1-1.5% (Fagbenro, 1988).

Trigo (*Triticum aestivum*). El germen de trigo ha mostrado tener un excelente valor nutritivo en dietas para carpa *Plecoglossus altivelis* y trucha *Salmo gairdneri*. Los resultados experimentales mostraron que el germen de trigo desengrasado y la harina de pescado mezclados en las dietas para *Plecoglossus altivelis* y *Salmo gairdneri* con tasas de inclusión de 50:50 para el *P. altivelis*

y 25 trigo: 75 harina de pescado para la trucha dieron los mejores crecimientos (Kemasamaru et al., 1972).

El gluten de trigo y maíz fueron probados en dietas para trucha. Los resultados indicaron que el gluten de trigo fue mejor que el gluten de maíz, utilizando sustituciones entre 9 y 12.5% (Koops et al., 1982).

Zea mayz. Cuando los solubles de maíz han sido utilizados en lugar de la harina de pescado y germen de trigo, los salmones *Onchorhynchus tshawytscha* son más pequeños y con menos proteína depositada, por lo que se concluye que los productos de maíz son de muy pobre calidad para los salmones. (Fowler y Banks, 1972; 1974). Contrario a lo anterior, Moyano et al., (1992) alimentaron a la trucha (*Onchorhynchus mikiss*) con dietas a base de germen de maíz en una sustitución de 0.4 a 0.6% de la proteína. Los alimentos fueron bien aceptados y los peces tuvieron un adecuado crecimiento, a pesar de que el germen de maíz tiene imbalances de los aminoácidos isoleucina y leucina.

Papa (*Solanum sp.*). Se han utilizado concentrados proteicos de papa para substituir harina de pescado en niveles que van de 0.4 y 0.6% de la proteína en alimentos para la trucha arco iris (*Onchorhynchus mykiss*). Los resultados no fueron adecuados debido a la presencia de solanina. La única posibilidad de utilizar este producto esta relacionada a la disponibilidad de harina libre de éste antinutriente (Moyano et al., 1992).

MACROFITAS ACUATICAS

Estas plantas pueden emplearse como forraje para peces herbívoros o transformarse en harina para incluirse como ingrediente en alimentos balanceados, pero la factibilidad de su uso depende de los costos de colecta y procesamiento. Las macrofitas se distribuyen mundialmente, encontrándose en casi todos los ambientes y normalmente se consideran como plaga, ya que interfieren con diversas actividades económicas, por lo que sería importante su utilización (Appler y Jauncey, 1983; Singhal y Mudgal, 1984).

Eichornia crassipes. La adición de 10% de harina del lirio acuático en dietas para bagre (*I. punctatus*) dieron como resultado crecimientos por arriba del testigo, sin embargo, se observó que este pez no consume alimento con más de 40% del material, debido a la reducción en la palatabilidad de la dieta por el elevado contenido de fibra del lirio (Liang y Lovell, 1971; Edwards et al., 1985). Las tilapias tienen una mejor capacidad para utilizar esta planta después de ser sometida al proceso de composteo, aceptando hasta 50% del material en su dieta sin afectar el crecimiento.

Azolla pinnata. Santiago et al. (1988) determinaron que *O. niloticus* crece bien con Oniveles de hasta 42% de inclusión de harina de ésta macrofita, en dietas con 35% de proteína. Mientras que El-Sayed (1992) observó marcada reducción del crecimiento en la misma especie, al substituir la proteína animal con este helecho en dietas con 30% de proteína. Al parecer las diferencias están relacionadas con el contenido de proteína y energía en las dietas.

Se considera que el valor nutricional de las macrofitas acuáticas es mayor como alimento fresco. Hassan y Edwards (1992) comprobaron que la *Lemna perpusilla* es un alimento

suplementario apropiado para peces herbívoros como la tilapia (*O. niloticus*).

NUEVAS ALTERNATIVAS

Se han realizado numerosos esfuerzos en la búsqueda de fuentes alternas de proteína vegetal para la sustitución total o parcial de la harina de pescado y a la fecha pocos productos se pueden utilizar a nivel comercial por diversos motivos, tales como costos de producción, niveles de antinutrientes, imbalance de aminoácidos, baja disponibilidad de los productos o altos costos de los procesos, entre otras.

Es evidente que la acuicultura integral de agua dulce de Asia, especialmente de China e India que produce el 65% de la producción mundial por acuicultura y que se basa en la fertilización, utilización de desechos o subproductos de la ganadería, agricultura y la industria para la producción de alimentos, es la única acuicultura sostenible (Tacon, 1993a, 1996) y la única que “exporta” nutrientes a la agricultura a través de una integración de cultivos. La acuicultura semi-intensiva e intensiva de peces y crustáceos marinos, recibe proteínas, carbohidratos y aceites de la pesca, la agricultura y la ganadería pero la acuicultura no “exporta” o recicla ningún recurso a estos sistemas de producción (Fig. 1), siendo por lo tanto una actividad altamente dependiente de una industria de la producción de alimentos y en consecuencia con dificultades para ser sostenible. Es fundamental por lo tanto, establecer modelos similares de ciclaje de nutrientes en la acuicultura intensiva de peces y crustáceos de aguas salobres y marinas, especialmente para reciclar el fósforo y nitrógeno que se libera a través de sus efluentes. Para ello la agricultura alternativa de especies halófitas y sus subproductos son todo un nuevo potencial de utilización de proteínas no convencionales, ya que estas plantas pueden ser cultivadas en las cada vez más abundantes tierras salinas, generadas por la agricultura y la construcción de presas, así como la reutilización de las tierras erosionadas por las malas prácticas agrícolas y ganaderas, que desde 1947 a la fecha se calcula cubren una área similar a China y la India juntas (Clarke, 1994). Los efluentes de las granjas de aguas marinas y de aguas salobres o dulces, podrían ser utilizados para el riego de halófitas, generando forraje para ganado del tipo de los pastos salados o semillas de gramíneas y oleaginosas como la *Salicornia* sp. que ha probado tener niveles importantes de proteínas (40%) y aceites (30%). Estos cultivos se han iniciado a nivel piloto en algunos países, con el propósito de obtener como primer producto, aceites de calidad para el consumo humano, generando subproductos ricos en proteína y carbohidratos que pueden ser utilizadas por la acuicultura y la ganadería (Clarke, 1994; Yensen et al., 1988; Yensen y Weber, 1987).

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Después de analizar casi 40 años de investigación sobre el uso de fuentes alternas de proteínas vegetales como sustituto de la harina de pescado en dietas para peces y crustáceos se puede concluir:

De las plantas oleaginosas, las más utilizadas actualmente y que en forma importante contribuyen a la alimentación acuícola son hasta el momento las pastas de soya, algodón, colza y girasol. La harina de soya a pesar de su imbalance de aminoácidos y contenido de antinutrientes

es la fuente de proteína vegetal más usada en la acuicultura, llegándose a utilizar como recurso protéico hasta el 100% en algunas especies. Sin embargo, tiene la enorme desventaja de que su uso compite con el consumo humano y animales terrestres, lo que ha elevado los costos y en algunos países es tan cara o inaccesible como la harina de pescado.

Otras proteínas de plantas oleaginosas como el algodón, girasol y colza, se utilizan en proporciones que pueden llegar a substituir a la harina de pescado hasta un 25%. Su uso es limitado debido a antinutrientes como el gossipol en el algodón y el contenido de fibras en la pasta de girasol y varios antinutrientes en la colza, principalmente los glucosinolatos.

La pasta de cacahuate, copra y ajonjolí son utilizadas en los lugares en donde son altamente disponibles incluyéndose en proporciones menores al 25% debido a deficiencias de aminoácidos, baja palatabilidad y presencia de ácido fítico respectivamente

Las proteínas vegetales de origen unicelular son utilizadas como un complemento alimenticio, pero generalmente altos niveles de inclusión en las dietas limitan el crecimiento debido a su elevado contenido de ácidos nucleicos y deficiencias de aminoácidos sulfurados. Se han llegado a utilizar niveles de inclusión de hasta 50% en trucha y 70% en bagre. Se considera que las levaduras en general tienen un alto potencial como sustituto de la harina de pescado, una vez que se elimine la toxicidad por el DNA con el uso de enzimas. Se requiere investigación en este aspecto para aprovechar estos recursos. Algunas levaduras como *Paffia rodhozyma* han revolucionado su utilización dentro de la acuicultura por ser un material con proteínas adecuadas, lípidos, vitaminas y minerales, presentando una alta producción del caroteno astaxantina, pigmento asociado a la fertilidad y como agente antioxidante. Una desventaja de esta levadura es el alto costo de producción, por lo que actualmente solo se utiliza como pigmento en dietas para salmónidos

Las proteínas bacterianas han llegado a substituir experimentalmente 60% de la harina de pescado. Estas proteínas tienen un alto potencial, sin embargo, su uso comercial dependerá de los costos de producción.

La utilización de las microalgas en dietas balanceadas para larvas de camarón *P. vanamei* está recobrando importancia (Freeman et al., 1996). *Spirulina* sp. se ha incorporado como un constituyente importante y como complemento alimenticio en las dietas de larvas de peces, principalmente debido a su riqueza en proteínas, vitaminas, carotenos y ácidos grasos.

Se requiere mayor investigación en la utilización de los complejos bacterianos de los lodos activados, así como evaluación de costos de producción para que estas proteínas sean incluidas en dietas comerciales para peces y crustáceos.

Los concentrados foliares como subproductos de la agricultura son todo un potencial para la substitución de harina de pescado. El principal problema es que las hojas y las semillas se deben cosechar en distintos períodos de tiempo y por otro lado, las hojas de plantas adultas

tienen más fibras y menos proteínas que las hojas de plantas jóvenes, cuando el fruto todavía no se ha desarrollado, haciendo difícil la compatibilidad de explotar ambos productos, por ejemplo granos y hojas de soya al mismo tiempo. En el caso de otros concentrados foliares como la alfalfa en la que la proteína es de buena calidad, el proceso de extracción es elevado y algunos antinutrientes no termolábiles como las saponinas, son altamente tóxicos para los peces.

Las leguminosas tienen un gran potencial para su uso en acuicultura como sustituto parcial de la harina de pescado, por los altos niveles de proteína que tienen, porque en su cultivo no requieren fertilizantes nitrogenados y por la amplia variedad de especies que existen. Algunas de las que se han estudiado como la semilla de colza presentan altos niveles de proteínas, pero tienen varios antinutrientes y por tal motivo existen restricciones en su utilización. Se considera necesario continuar con esfuerzos de investigación para identificar especies o variedades con bajos valores de antinutrientes como los realizados con la canola. Es importante también realizar estudios sobre técnicas efectivas y de bajo costo, para la eliminación de ciertos antinutrientes y estudios agronómicos para incrementar la producción de las plantas seleccionadas, con el fin de conocer el potencial de las mismas a nivel comercial. Se ha probado que las leguminosas son vehículos adecuados en sistemas de extrusión en donde se mezclan con subproductos de origen animal, obteniendo mezclas proteicas de alta calidad.

Los subproductos agrícolas como el café, cacao, germen de trigo, solubles de maíz y granos secos de cervecería, se utilizan como sustitutos parciales de la harina de pescado en diversas proporciones. La utilización de estos subproductos se realiza solamente en las regiones en las que se encuentran disponibles. Algunos de estos concentrados proteicos no pueden ser utilizados debido a los niveles y toxicidades de algunos antinutrientes como la solanina en el caso de la papa.

Las macrófitas acuáticas se utilizan casi exclusivamente para la alimentación de organismos herbívoros. Los problemas de su utilización son los altos niveles de agua que contienen y los altos costos de extracción. Se han utilizado como harina y como alimento fresco. Se considera que la forma fresca tiene mayor valor nutricional. Debido a que la producción es local, estos productos se utilizan regionalmente y a menos que exista un proceso industrial de bajo costo, será difícil integrarlos en la lista de materias primas para alimentos balanceados.

Existen nuevas áreas de investigación de producción proteica masiva, en la utilización de plantas halófitas como fuentes alternas, que puedan integrarse a los sistemas de cultivo semi intensivo e intensivo comercial de peces, crustáceos marinos y de aguas salobres, utilizando los efluentes cargados de nutrientes, transformándolos en proteínas, aceites y carbohidratos para consumo humano y animal.

REFERENCIAS

Abel, H.J., Becker, K., Meske, C. and Friedrich, W., 1984. Possibilities of using heat-treated full-fat soybeans in carp feeding. *Aquaculture*, 42:97-108.

- Akiyama, D.M. 1992. Utilización de la pasta de soya en los alimentos acuícolas. Asociación Americana de la Soya. ASA/México No. 18. 1a Impresión. 20pp.
- Akiyama, M. D. 1993. Futuras consideraciones para la industria alimentaria acuícola. Memorias del Primer Simposio Internacinal de Nutrición y Tecnología de Alimentos Para Acuicultura. Edited by Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie y Roberto Mendoza Alafaro. División de Nutrición Animal. Asociación Americana de Soya, Programa Maricultura Facultad de Ciencias Biológicas, Nuevo León. Mexico. pp. 25-34
- Alami-Durante, H., Charlos, N., Escaffre, A.-M. and Bergot, P., 1991. Supplementation of artificial diets for common carp (*Cyprinus carpio* L.) larvae. *Aquaculture*, 93: 167-175.
- Alexis, M.N., Papaparakeva-Papoutsoglou, E. and Teochari, V., 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.
- Andrews, W.J. and Page, W.J. 1974. Growth factors in the fish meal component of catfish diets. *J. Nutr.*, 104: 1091-1096
- Anwar, A., Ishak, M.M., El-Zeiny, M. and Hassanen, G.D.I., 1982. Activated sewage sludge as replacement for bran-cotton seed meal mixture for carp, *Cyprinus carpio* L. *Aquaculture*, 28: 321-325.
- Appelbaum, S., 1978, The suitability of alkane-yeast (Hydrocarbon grown yeast) as a first nutrient for *Coregonus albula* (L.) fry. EIFAC - Symposium on Finfish Nutrition and Feed Technology, EIFAC/78/Symp: E/54.
- Appelbaum, S. and Uland, B., 1979. Intensive rearing of grass carp larvae *Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes, 1844) under controlled conditions. *Aquaculture*, 17: 175-179.
- Appler, H.N., 1985. Evaluation of *Hydrodictyon reticulatum* as protein source in feeds for *Oreochromis* (*Tilapia*) *niloticus* and *Tilapia zillii*. *Journal of Fish Biology*, 2: 32-334.
- Appler, H.N. and Jauncey, K., 1983. The utilization of a filamentous green alga (*Cladophora glomerata* (L.) Kutzin) as a protein source in pelleted feeds for *Sarotherodon* (*Tilapia*) *niloticus* fingerlings. *Aquaculture*, 30: 21-30.
- Atack, T.H., Jauncey, K. and Matty, A.J., 1979. The utilization of some single cell proteins by fingerling mirror carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, 18: 337-348.
- Barlow, S., 1989. Fish Meal: world outlook to the year 2000. *Fish Farmer*, October 1989: pp

40-43.

- Barlow, S.M. and Pike, I.H. 1992. Fish meal and oil production and Markets 1990: Future Developments. Seminario Internacional sobre Calidad de Harinas de Pescado en Nutrición Animal Acuicola y Pecuaria.
- Bayne, D.R., Dunseth, D. and Ramirios, C.G., 1976. Supplemental feeds containing coffee pulp for rearing tilapia in Central America. *Aquaculture*, 7: 133-146.
- Bressani, R. and Elias, L.G. 1980. Nutritional value of legume crops for humans and animals. In: R.J. Summerfield and A.H. Bunting (Editors), *Advances in Legume Science*. Royal Botanic Gardens, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Great Britain, pp. 135-155.
- Carver, L.A. Akiyama, D.M. y Dominy, G.W. 1988. Processing of wet shrimp heads and squid viscera with soy meal by a dry extrusion process. *ASA Technical Bulletin. Soybeans*. Vol. 3. No. 16: 89-4. pp. 9
- Chow, C.Y. and Woo, N.Y.S., 1990. Bioenergetic studies on an omnivorous fish, *Oreochromis mossambicus*: evaluation of utilization of *Spirulina* algae in feed. In: R. Irano and I. Hanyu (eds.), *The Second Fisheries Forum*, Asian Fisheries Society, Manila, Philippines. pp. 291-294.
- Christensen, M.S., 1981. Preliminary tests on the suitability of coffee pulp in the diets of common carp (*Cyprinus carpio*) and catfish (*Clarias mossambicus* Peters). *Aquaculture*, 25: 235-242.
- Clarke, A., 1994. Samphire: From Sea to the Shining Seed. *Aramco World*, 45 (6): 1-9
- Dabrowska H. and T. Wojno. 1977. Studies on the utilization by rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich) of feed mixtures containing soybean meal and an addition of amino acids. *Aquaculture* 10: 297-310.
- Dabrowski K. and B. Kozak. 1979. The use of fishmeal and soybean meals as a protein source in the diet of grass carp fry. *Aquaculture*, 18: 107-114.
- Dabrowski, K., Bardega, R. and Przedwojski, R., 1983. Dry diet formulation study with common carp (*Cyprinus carpio* L.) larvae. *Z. Tierphysiol. Tierernährg. U. Futtermittelkde*, 50: 40-52.
- Dabrowski, K., Evans, R., Czarnocki, H. Kozłowska. 1982. Rapeseed meal in the diet of common carp reared in heated waters. IV. Iodide (¹²⁵I) accumulation and thyroid histology. *Z. Tierphysiol., Tiernährg. u. Futtermittelkde*. 48: 1-9. Verlag Paul Parey, Hamburg and Berlin.
- Dabrowski, K., Hassard, S., Quinn, J., Pitcher, T.J. and Flinn, A.M., 1980. Effect of *Geotrichum*

candidum protein substitution in pelleted fish feed on the growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich.) and on utilization of the diet. *Aquaculture*, 21: 213-232.

Dabrowskii, K. and Kozłowska, H. 1981 Rapeseed meal in the diet of common carp reared in heated waters. I. Growth of fish utilization of the diet. *Proceedings of the World Symposium on Aquaculture in heated effluents and recirculation systems*. Stavenger, 20-3¹ may, 1980. Vol. II, PP. 263-274.

Dade, B.A., Aguirre, P. Blanc, D. et Kaushik, S.J., 1990. Incorporation du colza 00 sous Oforme de tarteau ou d'amande dans les aliments de la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus Omykiss*): performance zootechnique et digestibilité. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 317: 50-57.

Davies, S.J. and Wareham, H., 1988. A preliminary evaluation of an industrial single cell protein in practical diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus* Peters). *Aquaculture*, 73: 189-199.

Davies, S.J., McConnell, S. and Bateson, R.I., 1990. Potential of rapeseed meal as an alternative protein source in complete diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus* Peters). *Aquaculture*, 87: 145-154.

Davis, A.T. and Stickney, R.R., 1978. Growth responses of *Tilapia aurea* to dietary protein quality and quantity. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 107: 479-483.

Davis D. A., D. Jirsa and C. R. Arnold. 1995. Evaluation of soybean proteins as replacements for menhaden fish meal in practical diets for the Red Drum *Sciaenops ocellatus* *Journal of the World Aquaculture Society*, 26 (1) 49-59

De la Higuera, M., Sánchez-Muñiz, F.J., Mataix, F.J. and Varela, G., 1981. Nitrogen utilization by rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fed on the yeast *Hansenula anomala*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 69A: 583-586.

De la Higuera, M., García-Gallego, M., Sanz, A., Cardenete, G., Suárez, M.D. and Moyano, F.J., 1988. Evaluation of lupin seed meal as an alternative protein source in feeding of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture*, 71: 37-50.

Dominy G.W. and Lim C., 1993. Evaluación de pasta de soya extruída con vísceras húmedas de calamar como fuente de proteína en alimentos para camarón. *Memorias del Primer Simposio Internacinal de Nutrición y Tecnología de Alimentos Para Acuicultura*. Edited by Elizabeth Cruz Suárez, Denis Ricque Marie y Roberto Mendoza Alafaro. División de Nutrición Animal. Asociación Americana de Soya, ProOgrama Maricultura Facultad de Ciencias Biológicas, Nuevo León. Mexico pp. 235-241.

Edwards, P., Kawal, M. and Wee, K.L., 1985. Incorporation of composted and dried water hyacinth in pelleted feed for the tilapia *Oreochromis niloticus* (Peters). *Aquaculture and Fisheries Management*, 16: 233-248.

- El-Sayed, A.M., 1990. Long-term evaluation of cotton seed meal as a protein source for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linn.). *Aquaculture*, 84: 315-320.
- El-Sayed, A.-F.M., 1992. Effects of substituting fish meal with *Azolla pinnata* in practical diets for fingerling and adult Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture and Fisheries Management*, 23: 167-173.
- Fagbenro, O.A., 1988. Evaluation of defatted cocoa cake as a direct feed in the monosex culture of *Tilapia guineensis* (Pisces: Cichlidae). *Aquaculture*, 73: 201-206.
- Freeman, M., N. Misciattelli., Z. Che Cob, C.A. Martinez-Palacios., A.O. Alabi and D.A. Jones. 1996. Preliminary trial demonstrating the replacement of algae with microencapsulated diets in penaeid larval culture. 3er. Symposium Internacional de Nutrición Acuicola. Monterrey Nvo. León 11-13 Noviembre de 1996.
- FAO, 1983. Fish feeds and feeding in developing countries - An interim report on the ADCP Feed Development Program. ADCP/REP/83/18. 97 pp.
- Fowler, L.G., 1980. Substitution of soybean and cottonseed products for fish meal in diets fed to Chinook and Coho salmon. *The Progressive Fish-Culturist*, 42(2): 87-91.
- Fowler, L. G. and Banks, J.L. 1972. Alteration testes of the Abernathy salmon diets, 1971. U.S. Bur. Sport. Fish Wild L., Tech. Pap. 64. 12 pp.
- Fowler, L.G. and Banks, J.L. 1974. Fish meal and wheat germ meal substitutes in the Abernathy diet, 1974. *The Progressive Fish-Culturist*. 38 (3): 127-130.
- Fowler, L.G. and Bank, J.L. 1976. Animal and vegetable substitutes for fish meal in the Abernathy diet, 1973. *The progressive Fish Culturist*. 38 (6): 123-126.
- Gomes E. F., P. Rena and S. J. Kaushik. 1995. Replacement of fish meal by plant protein in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): digestibility and growth performance. *Aquaculture*, 130: 177-186.
- Göhl, B., 1991. Tropical feeds. FAO/Oxford Computer Journals LTD, Ver 1.7.
- Guerrero, R.D. III, 1980. Studies on the feeding of *Tilapia nilotica* in floating cages. *Aquaculture*, 20: 169-175.
- Haiqing S. and H. Xiqin. 1994. Effects of dietary nimal and plant protein ratios and energy levels on growth and body composition of bream (*Megalobrama skolkovii* Dybowski) fingerlings. *Aquaculture*, 127: 189-196.
- Hardy, R.W. and Sullivan, C.V., 1983. Canola meal in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) production diets. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 40: 281-286.
- Hassan, M.S. and Edwards, P., 1992. Evaluation of duckweed (*Lemna perpusilla* and *Spirodella*

- polyrrhiza) as fed for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 104: 315-326.
- Hecht, T., 1981. Rearing of sharptooth catfish larvae (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822: Claridae) under controlled conditions. *Aquaculture*, 24: 301-308.
- Hecht, T. and Viljoen, J.H., 1982. Observations on the suitability of various dry feeds for the commercial rearing of carp *Cyprinus carpio* larvae in South Africa. *Water SA*, 8(1): 58-65.
- Hendriks, H. G.C.J.M., Van den Ingh, T. S.G.A.M., Krogdahl, A., Olli, J. and Koninkx, J. F.J.G., 1990. Binding of soybean agglutinin to small intestinal brush border membranes and brush border membrane enzyme activities in atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 91:163-170.
- Henson, R.H., 1990. Spirulina algae improves Japanese fish feeds. *Aquaculture Magazine*, 16(6): 38-43.
- Higgs, D.A., McBride, J.R., Markert, J.R., Dosanjh, B.S., Plotnikoff, M.D. and Clarke, W.C., 1982. Evaluation of tower and candle rapeseed (canola) meal and Bronowski rapeseed protein concentrate as protein supplements in practical dry diets for juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture*, 29: 1-31.
- Hirano, T. and Suyama, M., 1985. Effect of dietary micro-algae on the quality of cultured ayu. *Journal of the Tokyo University of Fisheries*, 72(1): 21-41.
- Hossain, M.A. and Jauncey, K., 1989. Studies on the protein, energy and amino acid digestibility of fish meal, mustard oilcake, linseed and sesame meal for common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture*, 83: 59-72.
- Hossain, M.A., Nahar, N., Kamal, M. and Islam, M.N., 1992. Nutrient digestibility coefficients of some plant and animal proteins for tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Journal of Aquaculture Tropical*, 7: 257-266.
- Hughes, S.G., 1988. Assessment of lupin flour as a diet ingredient for rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture*, 71: 379-385.
- Hughes, S.G., 1991. Use of lupin flour as a replacement for fullfat soy in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 93: 57-62.
- Humphries, C., 1980. Trypsin inhibitors in leaf protein concentrate. *J. Sci. Food Agric.*, 31: 1225-1230.
- Jackson, A.J., Capper, B.S. and Matty, A.J., 1982. Evaluation of some plant proteins in complete diets for the tilapia *S. mossambicus*. *Aquaculture*, 27: 97-109.
- Jackson, A., Matty, A.J. and Capper, B.S., 1981. Evaluation of protein sources in tropical fish

- feeds. In: A. J. Smith and R. G. Gunn (Editors), *Intensive Animal Production in Developing Countries*. Occasional Publication, 4. British Society of Animal Production.
- Kaushik, S.J. and Luquet, P., 1980. Influence on bacterial protein incorporation and of sulphur amino acid supplementation to such diets on growth of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *Aquaculture*, 19: 163-174.
- Kaushik S. J., J. P. Cravedi, J. P. Lailes, J. Sumpter, B. Fauconneau and M. Laroche. 1995. Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 133: 257- 274.
- Kesamaru K., Mae M. and Fukuda H. 1972. Studies on the nutritive value of wheat-germ as an ingredient of the diet for cultured fish. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 38 (7) : 677-683.
- Kieslisling, A. And Askbrandt, S. 1993. Nutritive value of two bacterial strains of single-cell protein for rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 109: 119-130
- Kinsella, J.E., 1970. Evaluation of plant leaf protein as a source of food protein. *Chemistry and Industry*, April 1970: 550-554.
- Kohler, C.C. and Pagan-Font, F.A., 1978. Evaluations of rum distillation wastes, pharmaceutical wastes and chicken feed for rearing *Tilapia aurea* in Puerto Rico. *Aquaculture*, 14: 339-347.
- Koops, H., K. Tiews, K., Gropp, J. and Schwalb-Bühling. 1982. Further results on the replacement of fish meal by other protein feed-stuffs in pellet feeds for rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Arch.FisschWiss*, 32: 59-75
- Law, A.T., 1986. Digestibility of low cost ingredients in pelleted feed by grass carp (*Ctenopharyngodon idella* C. et V.). *Aquaculture*, 51: 97-103.
- Lawrence, L.A., Castille, L.F., Sturmer, N. L. and Akiyama, M.D. 1986. Nutritional response of marine shrimp to different levels of soybean meal in feeds. Edited by: Dean M. Akiyama. American Soybean Association, Singapore 0923. pp. 9
- Liang, J.K., and Lovell, R. T., 1971. Nutritional value of water hyacinth in channel catfish feeds. *Hyacinth Control Journal*, 9(1): 40-44.
- Liener, I.E., 1980. Heat-labile antinutritional factors. In: R.J. Summerfield and A.H. Bunting (Editors), *Advances in Legume Science*. Royal Botanic Gardens, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Great Britain. pp. 157-177.

- Lim, C and Dominy W.G. 1993. Substitución de harina comercial de soya por soya integral en dietas para camarón, *Penaeus vannamei*. Memorias del Primer Simposio Internacional de Nutrición y Tecnología de Alimentos Para Acuicultura. Edited by Elizabeth Cruz Suárez, Denis Rique Marie y Roberto Mendoza Alafaro. División de Nutrición Animal. Asociación Americana de Soya, Programa Maricultura Facultad de Ciencias Biológicas, Nuevo León. Mexico pp. 271-279.
- Lovel T. 1980. Using Heat-treated Full-fat soybean meal in fish feeds. *Aquaculture magazine*. 6 (3): 39-40.
- Mahnken, C.V.W., Spinelli, J. and Waknitz, F.W., 1980. Evaluation of an alkane yeast (*Candida* sp) as a substitute for fish meal in Oregon moist pellet: feeding trials with Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture*, 20: 41-56.
- Martínez P. C. A., 1986. Advances in the substitution of fish meal and soybean meal by sunflower meal in diets on rainbow trout (*Salmo gairdneri*,L.). *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nac. Utón. México*, 13 (2): 345-352.
- Martínez. P.C.A., Galván, C.R., Olvera, N.M.A. and Chávez-M., C., 1988. The use of jack bean (*Canavalia ensiformis* Leguminosae) meal as a partial substitute for fish meal in diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus* Cichlidae). *Aquaculture*, 68: 165-175.
- Matty, A.J. and Smith, P., 1978. Evaluation of a yeast, a bacterium and an alga as a protein source for rainbow trout. I. Effect of protein level on growth, gross conversion efficiency and protein conversion efficiency. *Aquaculture*, 14: 235-246.
- Mohsen, A.A. and Lovell, E.T., 1990. Partial substitution of soybean meal with animal protein sources in diets for channel catfish. *Aquaculture*, 90: 303-311.
- Morales A. E., G. Cardenete, M. de la Higuera and A. Sanz. 1994. Effects of dietary protein source on growth, feed conversion and energy utilization in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 124: 117-126.
- Mori, T., Muranaka, T., Miki, W., Yamaguchi, K., Konosu, S. and Watanabe, T., 1987. Pigmentation of cultured sweet smelt fed diets supplemented with a blue-green alga *Spirulina maxima*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 53(3): 433-438.
- Moyano F.J., Cardene G. and M. de la Higuera. 1992. Nutritive value of diets containing a high percentage of vegetable proteins for trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquat. Living Resour.* 5: 23-29.
- Murray, A.P. and Marchant, R., 1986. Nitrogen utilization in rainbow trout fingerlings (*Salmo gairdneri* Richardson) fed mixed microbial biomass. *Aquaculture*, 54: 263-275.
- Mustafa, M.G. and Nakagawa, H., 1995. A review: dietary benefits of algae as an additive in

- fish feed. *The Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh*, 47(3-4): 155-162.
- Mustafa, M.G., Takeda, T-a., Umino, T., Wakamatsu, S. and Nakagawa, H., 1994. Effects of *Ascophyllum* and *Spirulina* meal as feed additives on growth performance and feed utilization of Red Sea bream, *Pagrus major*. *J. Fac. Appl. Biol. Sci., Hiroshima Univ.*, 33: 125-132.
- Nagy, S., Telek, L., Hall, N.T. and Berry, R.E., 1978. Potential food uses for protein from tropical and subtropical plant leaves. *J. Agric. Food Chem.*, 26(5): 1016-1028.
- National Research Council (NRC), 1977. Nutrient requirements of warmwater fishes. National Academy of Sciences, Washington, D.C., 57 pp.
- Nowacki, E., 1980. Heat stable antinutritional factors in leguminous plants. In: R.J. Summerfield and A.H. Bunting (Editors), *Advances in Legume Science*. Royal Botanic Gardens, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Great Britain, pp. 171-177.
- Ofojekwu, P.C. and Ejike, C., 1984. Growth response and feed utilization in the tropical cichlid, *Oreochromis niloticus* (Linn.) fed on cottonseed-based artificial diets. *Aquaculture*, 42: 27-36.
- Ogino, C., Cowey, C.B. and Chiou, J.-Y., 1978. Leaf protein concentrate as a protein source in diets for carp and rainbow trout. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fisheries*, 44(1): 49-52.
- Oliva-Teles A., A. J. Gouveia, E. Gomes and P. Rema. 1994. The effect of different processing treatments on soybean meal utilization by rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 124: 343-349.
- Olli, J.J., Krogdahl, Å. and Våben, A., 1995. Dehulled solvent-extracted soybean meal as a protein source in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture Research*, 26(3): 167-174.
- Olvera, N.M.A., Martinez, P.C.A., Galván, C.R. and Chávez, S.C., 1988. The use of seed of the leguminous plant *Sesbania grandiflora* as a partial replacement for fish meal in diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Aquaculture*, 1: 51-60.
- Opsivedi, J., Miller, E.L. and Pike, I.I.I., 1992. Vegetable protein with fish meal can replace soybean meal. *Feedstuffs*, February 3, 1992. pp. 12-17.
- Orachunwong, C. J., Kugler, J. and Pequignot, J. 1988. Growth and histological studies on the liver and anterior intestine of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed on mixed foods: *Daphnia magna*, *Chlorella vulgaris* and commercial carp pellets. In R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai and J.L. Maclean (eds). *The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. ICLARM Conference Proceedings 15, 623 p. 361-365.
- Orme, L. E., C. A. Lenm and F. N. Hitzel. 1979. Comparing dried sludge from paper processing

wastes to fish, soybean and cottonseed meal in rout feeds. U. S. Fish and Wildlife Service, Diet Development Center Internal Document. pp 97-108.

- Reinitz, G.L., Orme, L.E., Lemm, C.A. and Hitzel, F.N., 1978. Full-fat soybean meal in rainbow trout diets. *Feedstuffs*, 50(3): 23-24.
- Richmond, A., 1988. Spirulina. In: M.A. Borowitzka and L.J. Borowitzka (Editors), *Microalgal Biotechnology*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 85-121
- Robaina L., M. S. Izquierdo, F. J. Moyano, J. Socorro, J. M. Vergara, D. Montero and H. Fernandez-Palacios. 1995. Soybean and lupin seed meals as protein sources in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*): nutritional and histological implications. *Aquaculture*, 130: 219-233.
- Robinson, E.H., 1989. Channel catfish nutrition. *Reviews in Aquatic Sciences*, 1(3): 365-391.
- Robinson, E.H. and Daniels, W.H., 1987. Substitution of soybean meal with cottonseed meal in pond feeds for channel catfish reared at low densities. *Journal of the World Aquaculture Society*, 18(2): 101-106.
- Robinson, E.H., Rawles, S.D. and Stickney, R.R., 1984a. Evaluation of glanded and glandless cottonseed products in catfish diets. *The Progressive Fish-Culturist*, 46(2): 92-97.
- Robinson, E.H., Rawles, S.D., Oldenburg, P.W. and Stickney, R.R., 1984b. Effects of feeding glandless or glanded cottonseed products and gossypol to *Tilapia aurea*. *Aquaculture*, 38: 145-154.
- Robinson E. H. and R. Brent. 1995. Use of cottonseed meal in channel catfish feeds. *Journal of the World Aquaculture Society*, 20 (4): 250-256.
- Robinson E. H. and T. R. Tiersch. 1995. Effects of long-term feeding cottonseed meal on growth, testis development, and sperm motility of male Channel catfish *Ictalurus punctatus* Broodfish. *Journal of the World Aquaculture Society*, 26 (4): 426-431.
- Roe, B. and Bruemmer, J.H., 1980. Protein extraction from aquatic weeds. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 93: 338-340.
- Sánchez-Muñiz, F.J., Higuera, M. de la, Muñoz-Martinez, E. and Varela, G., 1983. Influence of *Hansenula anomala* yeast intake on the liver and kidney metabolism of the trout (*Salmo gairdneri*). *Comp. Biochem. Physiol.*, 75A(4): 609-613.

- Sanderson, W.G. and Jolly, O. S. 1994. The value of *Phaffia* yeast as a feed ingredient for salmonid fish. *Aquaculture*, 124: 193-200.
- Santiago, C.B., Bañez-Aldaba, M. and Laron, M.A., 1982. Dietary crude protein requirement of *Tilapia nilotica* fry. *Kalikasan, Philipp. J. Biol.*, 11(2-3): 255-265.
- Santiago, C.B., Aldaba, M.B., Reyes, O.S. and Laron, M.A., 1988. Response of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry to diets containing Azolla meal. In: R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai and J.L. Maclean (Editors), *The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. ICLARM Conference Proceedings, 15: 377-382.
- Santillán, S.C., 1979. Progresos con el alga *Spirulina* en la alimentación de animales y humanos. VIII Congreso Interamericano de Ingeniería Química, Bogotá, Colombia, Agosto de 1979. Mimeografiado. 32 pp.
- Sanz, A., Morales, A.E., De la Higuera, M. and Cardenete, G., 1994. Sunflower meal compared with soybean meal as a partial substitutes for fish meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: protein and energy utilization. *Aquaculture*, 128: 287-300.
- Shiau, S. Y., B. S. Pan, S. Chen, H. L. Yu and S. L. Lin. 1988. Successful use of soybean meal with a Methionine supplement to replace fish meal in diets fed to milkfish *Chanos chanos* forskal. *Journal of the World Aquaculture society*. 19 (1): 14-19
- Shiau, S. Y., C. C. Kwok, J. Y. Hwang, C. M. Chen and S. L. Lee. 1989. Replacement of fishmeal with soybean meal in Male tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) fingerling diets at suboptimal protein level. *Journal of the World Aquaculture Society*, 20 (4): 230-235.
- Shiau, S.-Y., Lin, S.-F., Lin, A.-L. and Kwok, C.-C., 1990. Deffated and full-fat soybean meal as partial replacements for fishmeal in tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) diets at low protein level. *Aquaculture*, 86: 401-407.
- Singhal, K.K. and Mudgal, V.D., 1984. Aquatic plants as animal feedstuff. *Indian Dairyman*, 36(9): 499-503.
- Soeder, C.J., 1980. Massive cultivation of microalgae: results and prospectus. *Hydrobiologia*, 72: 197-209.
- Spinelli, J., Mahnken, C. and Steinberg, M., 1979. Alternate sources of proteins for fish meal in salmonid diets. In: J. Halver and K. Tiews (Editors), *Finfish Nutrition and Fishfeed Technology*, Vol. II. pp. 132-142.
- Stickney, R.R., Hardy, R.W., Koch, K. Harrold, R., Seawright, D. and Masee, K., 1996. The effects of substituting selected oilseed protein concentrates for fish meal in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 27(1): 57-63.

- Tabthipwong P., C. Orachunwong, J. Kugler and J. Moreau. 1988. Influence of *Chlorella vulgaris* and *Microcystis aeruginosa* mixed with commercial carpa pellets on growth of Nile tilapia (*O. niloticus*) In: R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai and J.L. Maclean (Editors), The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings, 15: 387-392.
- Tacon, A.G.J., 1978/1979. Activated sewage sludge, a potential animal foodstuff. II. Nutritional characteristics. *Agriculture and Environment*, 4: 271-279.
- Tacon, A.G.J., 1987. The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp - A training manual 2. Nutrient sources and composition. FAO, GCP/RLA/075/ITA, Field Document 5/E, 129 pp.
- Tacon, A.G.J. 1993a. Feed Ingredients for Crustaceans Natural Foods and Processed feedstuffs. FAO Fisheries circular No. 866.67pp.
- Tacon, A.G.J. 1993b. Feed Ingredients for Warmwater Fish Fish meal and Other processed Feedstuffs. FAO Fisheries Circular No. 856. 64 pp.
- Tacon, A.G.J. 1994. Feed Ingredients For carnivorous Fish Species Alternatives to Fishmeal and Other Fisheries Resources. FAO Fisheries Circular No. 881. 35 pp.
- Tacon, A.G.J. 1996. Feeding tomorrow's fish. *World Aquaculture*: September, Vol 37 (3), pp. 20-32
- Tacon, A.G.J. and Jackson, A.J., 1985. Utilization of conventional and unconventional protein sources in practical fish feeds. In: C.B. Cowey, A.M. Mackie and J.G. Bell (Editors), *Nutrition and Feeding in Fish*. Academic Press, London, pp. 119-145.
- Tacon, A.G.J., Webster, J.L. and Martinez, C.A., 1984. Use of solvent extracted sunflower seed meal in complete diets for fingerling rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson). *Aquaculture*, 43: 381-389.
- Tacon, A.G.J., Haaster, J.V., Featherstone, P.B., Kerr, K. and Jackson, A.J., 1983. Studies on the utilization of full-fat soybean and solvent extracted soybean meal in a complete diet for rainbow trout. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 49(9): 1437-1443.
- Taylor, T.G. and Berk, Z., 1981. Novel sources of protein in animal and human nutrition. *Nutrition in health and disease and International development: Symposia from the XII International Congress of Nutrition*, New York, pp. 619-629.
- Teskeredi, Z., Higgs, D.A., Dosanjh, B.S., McBride, J.R., Hardy, R.W., Beames, R.M., Jones, J.D., Simell, M., Vaara, T. and Bridges, R.B., 1995. Assessment of undephytinized and dephytinized rapeseed protein concentrate as sources of dietary protein for juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 131: 261-277.

- Tomalsquim E., Cowea A. M. and Tomalsquim S. T. 1971. New starches properties of five varieties of Cowpea starches. *Cereal Chemistry*, 48 (2): 132-139.
- Torre, M., Rodríguez, A.R. and Saura-Calixto, F. 1991. Effects of dietary fiber and phytic acid on mineral availability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 30(1): 1-22.
- Van den Ingh T.S., A. Krogdahl, J. J. Olli, H.G. Hendriks and J.G. Koninkx. 1991. Effects of soybean-containing diets on the proximal and distal intestine in Atlantic salmon (*Salmo salar*): a morphological study. *Aquaculture*, 94: 297-305.
- Van der Poel, A.F.B., 1990. Effect of processing on antinutritional factors and protein nutritional value of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). A review. *Animal Feed Science and Technology*, 29: 179-208.
- Vinconneau, H. F., 1979. Processing of leaf proteins into food ingredients. *J. Am. Oil Chemists Soc.*, 56: 469-470.
- Viola, S., and Arieli, Y., 1983. Evaluation of different grains as basic ingredients in complete feeds for carp and tilapia in intensive culture. *Bamidgeh*, 35(2): 38-43.
- Viola, S., and Zohar, G., 1984. Nutrition studies with market size hybrids of tilapia (*Oreochromis*) in intensive culture. 3. Protein levels and sources. *Bamidgeh*, 36(1): 3-15.
- Viola, S., Arieli, Y. and Zohar, G., 1988. Animal-protein-free feeds for hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) in intensive culture. *Aquaculture*, 75: 115-125.
- Viola, S., Mokady, S., Rappaport, V. and Arieli, Y., 1981/1982. Partial and complete replacement of fishmeal by soybean meal in feeds for intensive culture of carp. *Aquaculture*, 26: 223-236.
- Viola, S., Mokady, S. and Arieli, Y., 1983. Effects of soybean processing methods on the growth of carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, 32: 23-38.
- Webster, C.D., Goodgame-Tiu, L.S. and Tidwell, J.H., 1995. Total replacement of fish meal by soybean meal, with various percentages of supplemental L-methionine, in diets for blue catfish, *Ictalurus furcatus* (Lesueur). *Aquaculture Research*, 26(5): 299-306.
- Webster, C.D., Tidwell, J.H., and Yancey, D.H., 1991. Evaluation of distillers' grains with solubles as a protein source in diets for channel catfish. *Aquaculture*, 96: 179-190.
- Webster, C.D., Yancey, D.H. and Tidwell, J.H., 1992a. Effect of partially or totally replacing fish meal with soybean meal on growth of blue catfish (*Ictalurus furcatus*). *Aquaculture*, 103: 141-152.

- Webster, C.D., Tidwell, J.H., Goodgame, L.S., Yancey, D.H. and Mackey, L., 1992b. Use of soybean meal and distillers grains with solubles as partial or total replacement of fish meal in diets for channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture*, 106: 301-309.
- Wee K.L. and S. W. Shu. 1989. The nutritive value of boiled full fat soybean in pelleted feed for Nile tilapia. *Aquaculture*, 81: 303-314.
- Wee, K.L. and Wang, S.-S., 1987. Nutritive value of *Leucaena* leaf meal in pelleted feed for Nile tilapia. *Aquaculture*, 62: 97-108.
- Wilson, R.P. and Poe, W.E., 1985. Effects of feeding soybean meal with varying trypsin inhibitor activities on growth of fingerling channel catfish. *Aquaculture*, 46: 19-25.
- Wu, J.-L. and Jan, L., 1977. Comparison of the nutritive value of dietary proteins in *Tilapia aurea*. *Journal of the Fisheries Society of Taiwan*, 5(2): 55-60.
- Yensen, S.B. and Weber C.W. 1987. Protein quality of *Distichlis palmeri* grain, a saltgrass. *Nutrition Reports International* 35, (5): 963-972
- Yensen, S.B., Yensen, S.B. and Weber, C.W. 1988. A review of *Distichlis* spp. for production and nutritional values. In *Arid Lands: Today and Tomorrow*. Proc. of an Intl. Res and Dev. Conference. Tucson Arizona, Oct. 20-25, 1985. (Eds. E. Whitehead, C. Hutchinson, B. Timmerman, and R. Varady). Westlyw Press, Boulder. pp. 809-822.

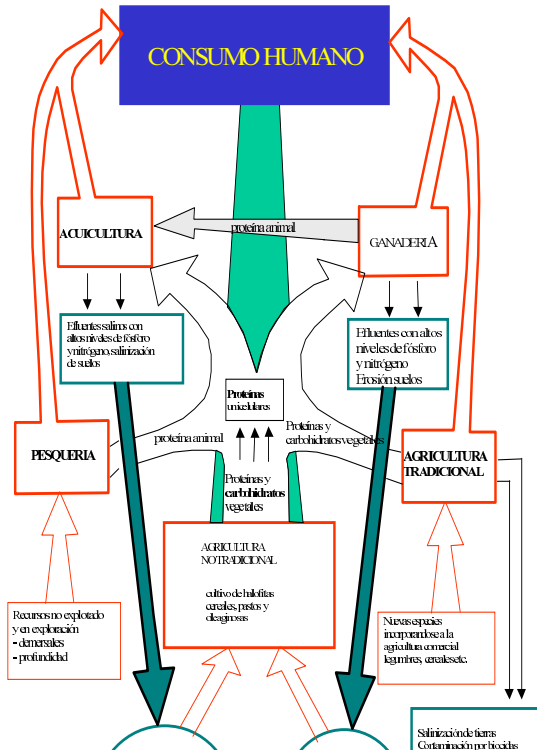


Figura 1. Flujo de nutrientes de la agricultura, ganadería, pesca y acuicultura para el consumo humano. Alternativas de investigación para incrementar la producción.

Tabla 1. Características generales de los materiales proteicos de origen vegetal utilizados en la alimentación de peces

CARACTERÍSTICAS			
Material	Positivas	Negativas	Aplicación
Soya	Nivel proteico superior a 40%. Rica en vitaminas C, K, tiamina, niacina, riboflavina, y tocoferoles	Pobre en lisina y aminoácidos sulfurados. Presencia de fitatos, hemaglutininas, inhibidores de tripsina, saponinas, goitrógenos, y factores antivitaminas D, E y B12 entre otros antinutrientes.	Harina o pasta desengrasada y también entera sin desengrasar
Algodón	Buen nivel proteico (26-47%). Buena palatabilidad	Contiene el antinutriente gosispol presente en las glándulas de pigmento, el cual afecta la disponibilidad de lisina, reduciendo el crecimiento en monogástricos. Presencia de ácidos grasos ciclopropenoicos.	Se usa harina desengrasada con solventes o de semilla sin glándula del pigmento
Girasol	Buen nivel proteico (26-42%). Muy rico en aminoácidos sulfurados; bajo contenido de antinutrientes	Alto contenido de fibra. Presenta actividad moderada de inhibidores de proteasa, arginasas y taninos.	Harina o pasta, de preferencia material decortificado
Cacahuete	Buen nivel proteico (33-57%)	Bajo contenido de aminoácidos sulfurados y lisina. Fácil contaminación con hongos productores de aflatoxinas.	Se usa harina o pasta
Copra	Moderado nivel proteico (19-25%)	Generalmente cara. Alto contenido de fibra. Deficiente en lisina. De fácil descomposición por su alto contenido de aceite residual.	Harina o pasta

(Contínnea Tabla 1)
CARACTERESTICAS

Material	Positivas	Negativas	Aplicación
Ajonjolí	Buen nivel proteico (32-44%), rico en tionina y arginina	Alto contenido de ácido fítico que forma complejos insolubles con algunas proteínas y cationes metálicos reduciendo su disponibilidad biológica.	Harina o pasta
Colza	Rica en proteína. Elevado contenido de metionina y listina.	Posee varios antinutrientes incluyendo glucosinolatos, ácido ercico, ácido fítico, taninos y otros constituyentes fenólicos.	Harina o pasta
Levaduras	Ricas en proteína (50-70%) y vitaminas del complejo B. Pueden cultivarse en substratos baratos.	Alto contenido de ácidos nucleicos, carbohidratos y material indigerible. Deficientes en aminoácidos sulfurados y algunos minerales como el calcio.	Levaduras cultivadas en alcaños o melaza
Bacterias	Niveles de proteína superiores a los de otros materiales unicelulares (70-80%)	Elevado contenido de ácidos nucleicos	Pruteen, subproductos farmacéuticos e industriales
Hongos filamentosos	Ricos en proteína (30-65%). Se cultivan en residuos industriales	Deficientes en aminoácidos sulfurados. Lento crecimiento.	Materia seca pulverizada
Microalgas	Ricas en proteína (40-65%) y pigmentos. Se cultivan en sistemas continuos o en aguas residuales	Alto costo de producción; baja digestibilidad en monogástricos; bajo valor energético	Materia seca pulverizada

(Continúa Tabla 1)

CARACTERÍSTICAS

Material	Positivas	Negativas	Aplicación
Lodos activados	Ricos en proteína y minerales. Son una fuente importante de tirosina, valina y fenilalanina y una de las fuentes más ricas de vitamina B12.	Deficientes en aminoácidos sulfurados. Presentan altos niveles de nitrógeno no proteico. Tienen niveles bajos de lípidos, alto contenido de fibra y elevadas cantidades de cenizas inorgánicas que pueden provocar desbalance mineral. Pueden contener reiduos tóxicos o cancerígenos y microbios patógenos	Suplemento alimenticio o ingrediente en la dieta
Concentrados proteicos	Ricos en proteína (36-70%), lípidos, minerales, pigmentos y vitaminas	Deficientes en aminoácidos sulfurados. Concentran también los antinutrientes termoestables. Afectan el sabor. Alto costo de producción	Harina
Semillas de leguminosas	Fuente importante de proteína, energía (como lípidos y carbohidratos) y vitaminas del complejo B. Ricas en lisina	Deficiente en aminoácidos sulfurados. Contienen múltiples antinutrientes como aminoácidos libres (canavanina y mimosina), alcaloides, glucósidos cianogénicos, saponinas y factores estrogénicos, entre otros	Harina
Subproductos agrícolas	Báratos y de amplia disponibilidad	Valor nutricional variable. Contienen antinutrientes	Como harina en alimentos o como alimento suplementario
Macrofitas acuáticas	Amplia distribución. Elevado contenido de minerales esenciales, y vitaminas	Altos costos de colecta y procesamiento; valor proteico variable; ricas en fibra	Harina o alimento suplementario

Tabla 2. Algunos factores antinutricionales comunes en materiales proteicos de origen vegetal

Antirnutriente	Material	Efecto
Inhibidores de proteasas	<p>Oleaginosas incluyendo: Algodón (<i>Gossypium</i> spp.) Cacahuete (<i>Arachis hypogaea</i>) Colza (<i>Brassica campestris</i>) Girasol (<i>Helianthus annuus</i>) Soya (<i>Glycine max</i>)</p> <p>Leguminosas incluyendo: Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>) Leucaena (<i>Leucaena leucocephala</i>) Canavalia (<i>Canavalia</i> spp.) Frijoles (<i>Phaseolus</i> spp.) Lupino (<i>Lupinus albus</i>) Cereales y sus subproductos</p>	<p>Afecta la actividad de la tripsina y agudiza la deficiencia de aminoácidos sulfurados de las proteínas vegetales. Provoca hipertrofia pancreática asociada a pérdida de proteínas secretadas por el páncreas, constituidas en gran medida por enzimas ricas en Cistina. Son termolábiles</p>
Fitoheماغلútiinas	<p>Oleaginosas incluyendo: Cacahuete, soya</p> <p>Leguminosas incluyendo: Frijoles hicharos (<i>Cicer</i> spp., <i>Vigna</i> spp., <i>Cajanus</i> spp., <i>Pisum</i> spp.) Cereales y sus subproductos</p>	<p>Provocan coagulación de la sangre. Son termolábiles</p>
ácido fítico (Fíatos)	<p>Oleaginosas incluyendo: Cacahuete, colza, soya, algodón Ajonjolí (<i>sesamum indicum</i>) Leguminosas incluyendo: Frijoles, chicharos. Cereales y sus subproductos.</p>	<p>Forma complejos indigeribles por los sistemas digestivos de los animales, establecer enlaces con aniones y cationes mono y polivalentes como proteínas, fósforo, calcio, zinc, cobre, magnesio, etc., provocando deficiencias de minerales. No se inactivan con calor.</p>

(Continúa Tabla 2)

Antinutriente	Material	Efecto
Cianógenos	Oleaginosas incluyendo Lino (<i>Linum usitatissimum</i>) Leguminosas incluyendo: Frijoles, chícharos, harina de yuca. Soya, Frijoles, alfalfa Soya	Toxicidad por cianuro El cocimiento destruye las enzimas liberadoras del tóxico y volatiliza el HCN (ácido cianídrico) Reducen la disponibilidad biológica de las vitaminas. Se inactivan por calor.
Antagonistas de vitaminas -Anti vitamina E -Anti vitamina B12, D y A		
Micotoxinas -Aflatoxinas	Oleaginosas incluyendo: Cacahuete, colza, soya, girasol Algodón Leguminosas incluyendo: Frijoles, chícharos Cereales y sus subproductos	Elevada toxicidad Cancerígeno. Producidas por el moho <i>Aspergillus lafusus</i> bajo condiciones inadecuadas de almacenamiento, alta humedad y temperatura. Se presenta también en alimentos terminados.
Aminoácidos libres -Mimosina -Canavanina -Canalina -Lectinas	Leguminosas incluyendo: Leucaena Canavalia, Sesbainia. Leguminosas incluyendo: Canavalia Phaseolus sp.	Tóxicos a niveles elevados, inhibición del crecimiento y alta mortalidad. Estables al calor. Reducen la absorción a nivel de tracto digestivo. Se aumenta su actividad en Presencia de aflatoxinas.

Adaptado de FAO, 1983; Tacon y Jackson, 1985, New, 1987.

Tabla 3. Composición proximal de algunas fuentes proteicas de origen vegetal

Material	Proteína cruda (%)	Extracto etéreo (%)	Fibra cruda (%)	Cenizas (%)
Soya integral (<i>Glycine max</i>)	38.0	18.0	5.0	4.6
Pasta de soya	44.8	1.2	5.8	6.3
Concentrado de proteína de soya	84.3	0.5	0.1	3.5
Semilla de algodón (<i>Gossypium sp</i>)	41.2	1.4	12.1	6.5
Semilla descascarada de algodón	50.3	1.3	8.2	6.6
Semilla descascarada de Girasol (<i>Helianthus annuus</i>)	46.3	2.9	11.4	7.6
Cacahuete (<i>Arachis hypogaea</i>)	48.1	5.8	6.9	5.1
H. de coco (<i>C. nucifera</i>)	21.3	3.5	14.0	6.0
Colza (<i>Brassica campestris</i>)	37.0	1.7	12.0	6.8
Levadura de cerveza (<i>Saccharomyces cerevistiae</i>)	43.8	0.8	2.9	6.6
Levadura torula (<i>torulopsis uilis</i>)	49.1	1.6	2.3	7.7
Semilla de ajonjolí (<i>Sesamum indicum</i>)	22.8	30		5.2
Cacao (<i>teobrama caco</i>)	23.1	5.3	8.9	5.3
Lino (<i>linus usitatissimum</i>)	34.1	6.8	10.4	4.0
Leucaena (<i>Leucoaena leucocephala</i>)	32.6	6.8	10.4	4.0
Lupina (<i>Lupinus albus</i>)	40.0	6.4	12.1	4.1
Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	22.6	1.6	4.2	4.1
Chicharo (<i>Vigna unguiculata</i>)	23.0	1.5	5.7	3.0
Sesbania (<i>Sesbania sp</i>)	32.5	6.2	10.9	1.4
Chicharo de caballo (<i>Macrolyoma uniflorum</i>)	24.7	4.8	6.1	2.8

(Continúa Tabla 3)

Material	Proteína cruda (%)	Extracto etéreo (%)	Fibra cruda (%)	Cenizas (%)
Haba comen (Vicia faba)	25.6	1.4	6.7	3.7
Haba blanca				
(Canavalia ensiformis)	31.2	2.1	9.4	2.7
Café (Coffea arabica)	10.9	2.3	22.9	22.1
Harina gluten de maíz	45.8	2.7	3.7	3.2
Harina germen de trigo	25.0	8.0	3.3	4.7
Alfalfa lucerna (M. sativa)	17.3	2.7	24.4	9.5
Helecho acuático (planta seca)	25.3	3.8	9.3	12.5
Lirio acuático (planta seca)	14.8	2.9	22.9	22.1
Chichicastle (Lemna minor)	20.9	4.1	13.2	13.6

Adaptado de Tacon A. G.J. 1989

Tabla 4. Efectos de la inclusión de diferentes proteínas vegetales en la dieta de peces cultivados

Material	Especie	Nivel de inclusión (%) de la proteína	T.C.A.	Crecimiento (comparado con el Control)	Referencias
Oleaginosas	Trucha (<i>O. mykiss</i>)	73	1.57	+14	Reinitz et al., 1978 Tacon et al., 1983
	Trucha	50	1.14	+23	Oliva-Teles et al., 1994 Gomes et al., 1995
	Trucha	30	-	+15	Fowler, 1980
	Trucha	22	1.01	=	Abel et al., 1994
	Salmon (<i>Salmo salar</i>)	33	-	-8	
	Carpa (<i>Cyprinus carpio</i>)	50	1.60	-35	
	Bagre (<i>I. punctatus</i>)				
	Tilapia (<i>O? niloticus</i>)	28	1.22	+44	Robinson et al., 1985
	Tilapia	58	1.68	+255	Wee y Shu, 1989
		30	1.31	-10	Shiau et al., 1990
Harina de soya	Trucha (<i>O. mykiss</i>)	75	1.17	+26	Tacon et al., 1983
	Trucha	21	1.70	+30	Alexis et al., 1985
	Trucha	21	-	+15	Oliva teles et al, 1994 Kaushik et al., 1995 Stieckney et al., 1996 Robinson y Daniels, 1987
	Trucha	62	-	=	Mohsen y Lovell, 1990
	Trucha	50	2.78	=	Webster et al., 1992
	Trucha	85	1.54	+69	Atack et al., 1979
	Bagre (<i>I. punctatus</i>)	48	1.67	-17	Viola et al., 1981/1982
	Bagre	100	2.37	-49	Davis y Stieckney, 1978 Wu y Jan, 1977
	Carpa	100	2.86	+4	Viola et al., 1988
	Carpa	100	-	-	Shiau et al., 1990
Tilapia (<i>Oreochromis spp</i>)	Tilapia	100	1.46	-35	Jackson et al., 1992
	Tilapia	100	-	=	Robama et al., 1995
	Tilapia	30	1.11	+15	Tidwell et al., 1993
	Tilapia	75	2.31	=	
	Tilapia	30	-	=	
	Tilapia	30	-	=	

(Continúa Tabla 4)

Material	Especie	Nivel de inclusión (%) de la proteína	T.C.A.	Crecimiento (comparado con el Control)	Referencias
	Mojarrón (<i>Sparus aurata</i>)	25	2.51	=	
	Langostino				
Harina de algodón (<i>Gossypium</i> spp)	Tilapia (<i>Oreochromis</i> spp)	50	1.69	+26	Jackson et al., 1982
	Tilapia	47	1.49	-28	Robinson et al., 1984b
	Tilapia	100	4.83	-63	Ofojekwu y Ejike, 1984
	Tilapia	100	2.50	-24	El-Sayed, 1990
	Bagre (<i>I. punctatus</i>)	100	1.74	-4	Robinson y Daniels, 1987
	Bagre	20	1.47	=	Robinson y Brent, 1989
Harina de girasol (<i>Helianthus annuus</i>)	Trucha (<i>O. mykiss</i>)	25	1.50	-1	Tacon et al., 1984
	Trucha	37	0.96	+20	Martínez-Palacios, 1988
	Tilapia (<i>O. mossambicus</i>)	25	1.87	+7	Jackson et al., 1982
	Bagre (<i>I. punctatus</i>)	25	4.2	=	Robinson y Tiersch 1995
Harina de copra (<i>Cocus muccifera</i>)	Harina de cacahuete				- Robinson et al., 1984b
	Tilapia	25	2.5	1.51	Jackson et al., 1982
	Tilapia (<i>Oreochromis</i> spp)	10	2.16	+14	Guerrero, 1980
	Tilapia	25	3.60	n.d.	Jackson et al., 1982
	Trucha (<i>O. mykiss</i>)	20	2.14	+12	Hardy y Sullivan, 1983
	Trucha	8	1.65	+10	Addou et al., 1990
	Trucha	40	1.37	=	McCurdy y March 1992
	Salmon		1.13	+8	Higgs et al., 1978
	Salmon (<i>O. tshawytscha</i>)	25	17	-2	McCurdy y March 1992
	Tilapia (<i>O. mossambicus</i>)	50	2.00	+46	Jackson et al., 1982
Harina de colza (<i>Brassica napus</i>), (<i>Brassica campestris</i>)	Tilapia	5	1.66	+15	Davies et al., 1990
	Trucha	15	1.76	-16	Gomes et al., 1993
	Trucha + Chicharo		1.04	+16	

Carlos Antonio Martínez Palacios María Cristina Chávez Sánchez,
Miguel Angel Olvera Novoa, María Isabel Abdo de la Parra.

(Continúa Tabla 4)

Material	Especie	Nivel de inclusión (%) de la proteína	T.C.A.	Crecimiento (comparado con el Control)	Referencias
Levaduras	Trucha (<i>O. mykiss</i>)	100	1.51	+3	Matty y Smith, 1978
Candida	Trucha	40	1.44	+6	Mahnken et al., 1980
	Salmón (<i>O. kisutch</i>)	25	1.79	-1	Mahnken et al., 1980
	Carpa (<i>C. carpio</i>)	49	0.70	-14	Alami et al., 1991
Hansenula anomala sp.	Trucha (<i>O. mykiss</i>)	100	1.79	-53	Higuera et al., 1981
	Trucha	100	1.88	-17	Sánchez et al., 1983
Solubles de destilería	Bagre (<i>I. punctatus</i>)	70	2.19	+23	Webster et al., 1991
	Bagre	35	2.05	+12	Webster et al., 1992
	Tilapia (<i>Oreochromis spp.</i>)	30	1.40	+22	Poumogne et al., 1992
	Carpa (<i>C. carpio</i>)	100	1.55	+13	Atack et al., 1979
BACTERIAS	Trucha (<i>O. mykiss</i>)	50	1.44	+59	Murray y Marchant 1986
PUTREEN	Carpa (<i>C. carpio</i>)	100	1.14	+23	Atack et al., 1979
Putreen	Trucha (<i>O. mykiss</i>)	60	1.52	=	Kaushik y Luquet, 1980
	Trucha	75	1.23	+17	Tacon et al., 1983
Subprod. antibióticos	Trucha	UA	-	-7	Kholer y Pagan, 1978
Pseudomona sp.	Trucha	100	2.10	-49	Kholer y Pagan, 1978
B. lactofermentina	Trucha	4	0.99	-2	Kiessling y A., 1993
B. glutamaticum	Trucha	4	1.40	-17	Kiessling y A., 1993
Subprod. industriales	Tilapia (<i>Oreochromis spp.</i>)	20	1.86	-12	Davies y Wareham, 1988
HONGOS					
Geotrichum candidum	Trucha (<i>O. mykiss</i>)	50	1.64	-20	Dabrowski et al., 1908
MICROALGAS					
Spirulina sp.	Trucha (<i>O. mykiss</i>)	100	2.45	-57	Matty y Smith, 1978
Spirulina máxima	Carpa (<i>C. carpio</i>)	100	2.50	-48	Atack et., 1979
	Samón	2.5*	-	+23	Henson, 1990
Spirulina	Mojarron	50	1.81	=	El Sayed, 1994

(Continúa Tabla 4)

Material inclucion (%) de la proteína	Especie (comparando con el control)	Nivel de	T.C.A.	Crecimiento	Referencias
LODOS ACTIVADOS	Carpa (C. carpio)	40	.47	+75	Anwar et al., 1982
Biomasa					
CONCENTRADOS	Carpa	100	2.86	-45	Atack et al., 1979
PROTEICOS					
Soya, semilla	Carpa	43	-	+5	Ogino et al., 1978
Pasto, hoja	trucha	43	-	+14	Ogino et al., 1978
Leucaena, hojas	Tilapia (O. niloticus)	25	4.62	-17	Jackson et al., 1982
	Tilapia		25	1.46	-24 Wee y Wang, 1987
	Tilapia	40	-	-13	Santiago et al., 1988
Canavalia, semilla	Tilapia(O. nilotica)	250	96	+3	Martines et al., 1988
Sesbania, semilla	Tilpia (O. nilotica)	25	1.53	-22	Olvera et al., 1988
CONCENTRADOS					
PROTEICOS					
haseolus, semilla	Tilapia	25*	1.53	=	Silva y Guanasekera, 1989
Lupinus, semilla	Carpa (C. carpio)	30*	3.20	+26	Viola et al., 1988
	Trucha (O. mkiss)	30	1.24	-14	Higuera et al., 1988
	Trucha		40*	1.25	+6 Hughes, 1988
	Trucha		40*	1.35	+7 Huges, 1991
	Trucha		32	-	= Moyano et al., 1992
	Mojara		30	-	= Robaina et al 1995
SUBPRODUCTOS					
VEGETALES					
Café, cascarrilla	Tilapia (Oreochromis spp)	30	1.96	+2	Baynee et al., 1976
Cacao, subprod.	Tilapia	UA3	5.12	-22	Fagbenro, 1988
Cacao, pulpa	Clarias	45*	2.11	-9	Fagbenro, 1992
Yuca, hoja	Tilapia	20	1.83	-25	Ng y wee, 1989

(Contineea Tabla 4)

Material	Especie inclusión (%) de la Proteina	Nivel de T.C.A. (comparando con el Control	Crecimiento	Referencias
PLANTAS				
ACUATICAS				
Algas	Tilapia (<i>S. niloticus</i>)	33	2.18	-34
	Tilapia	33	2.19	-23
	Tilapia	50	1.51	-30
	Tilapia (<i>Oreochromis sp</i>)	50*	2.19	+28
Lirio acuatico				
PLANTAS				
ACUATICAS				
Lemna sp.	Tilapia	UA	1.60	-
	Bagre (<i>I. punctatus</i>)	10	nd	+10
Azolla sp	Tilapia	10	2.70	+32
	Tilapia	25	2.13	-44
				Hassan y Eduards, 1992
				Liang y Lovell, 1971
				Santiago et al., 1978b
				El-Salled, 1992

¹ Porcentage de sustitución de la proteina animal con la vegetal

² Crecimiento comparado con la dieta control

³ Unico alimento

* Nivel de inclusión en la dieta