

Potencialidad del Uso de las Leguminosas como Fuente Proteica en Alimentos para Peces

Miguel A. Olvera Novoa, Leticia Olivera Castillo

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N. (CINVESTAV), Unidad Mérida. Apdo. Postal 73-CORDEMEX, 97310 Mérida, Yucatán, México.
email: molvera@kin.cieamer.conacyt.mx

Resumen

Debido al costo elevado y fluctuaciones en la disponibilidad de la harina de pescado, las proteínas vegetales se han constituido como la alternativa más viable para su sustitución en dietas acuícolas. Las leguminosas están consideradas como la principal proteína vegetal por su elevado contenido de proteína de buena calidad, vitaminas y minerales, particularmente fósforo y hierro, sin embargo su calidad nutricional es afectada por la presencia de factores antinutricionales entre los que destacan los inhibidores de proteasas. La soya es la leguminosa más ampliamente utilizada en la alimentación de peces ya sea entera o como harina desengrasada. Los estudios indican que la soya entera tratada con calor puede sustituir hasta 73% de la proteína animal en dietas para peces, mientras que la harina es considerada actualmente uno de los ingredientes más importantes en dietas para salmónidos y bagre, en cuya dieta puede sustituir 75 y 100% de la proteína animal, respectivamente. Las tilapias también crecen adecuadamente con dietas a base de harina de soya como única proteína. Debido a la demanda sobre la soya, se han explorado otras fuentes de proteína para alimentos acuícolas, entre las que destaca la variedad de lupino baja en antinutrientes, con al que se ha logrado sustituir hasta 40% de la harina de pescado en dietas para peces principalmente salmónidos. Entre las oleaginosas, también se ha usado en la alimentación de los peces la harina o pasta de cacahuete, probada como ingrediente proteico secundario mezclado con otras proteínas vegetales, siendo posible incluir hasta un máximo de 25% en alimentos para carpa, tilapia y bagre. Además de estos materiales, se han probado varios tipos de leguminosas no convencionales entre las que se encuentran los chícharos, que pueden sustituir hasta 18% de la proteína en dietas para lobina marina. La hoja de leucaena, a pesar de su alto contenido de mimosina, una vez remojada puede aportar hasta 25% de proteína animal en dietas para tilapia y carpa. La inclusión de harina de hoja de alfalfa provoca resultados negativos, sin embargo sus concentrados proteicos pueden sustituir hasta 35% de la proteína animal en dietas para tilapia. La inclusión de semillas de canavalia o de sesbania tratadas para eliminar sus antinutrientes permitió sustituir 25% de la proteína en dietas para tilapia, mientras que con los frijoles verde y negro se logró sustituir hasta 33% de la proteína animal en dietas para tilapia. La vinya se ha probado en dietas para tilapia en forma harina o de concentrado proteico, con los que se puede sustituir entre 30 y 50% de la proteína animal en dietas para tilapia. Los efectos adversos asociados al uso de leguminosas se refieren a reducción en el crecimiento, baja digestibilidad y deficiencia de fósforo y de energía, atribuidos a la presencia de inhibidores de tripsina, fitatos y oligosacáridos indigeribles, además de aminoácidos libres. La mayor parte de las investigaciones con soya y lupino se han hecho con salmónidos y bagre, mientras que las leguminosas no convencionales se han estudiado principalmente como alimento para tilapia. De acuerdo con los resultados disponibles en la

Olvera-Novoa, M. A. y L. Olivera-Castillo. 2000. Potencialidad del uso de las leguminosas como fuente proteica en alimentos para peces. pp 327-348 En: Civera-Cerecedo, R., Pérez-Estrada, C.J., Ricque-Marie, D. y Cruz-Suárez, L.E. (Eds.) Avances en Nutrición Acuícola IV. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Noviembre 15-18, 1998. La Paz, B.C.S., México.

literatura, las leguminosas, principalmente las especies tropicales no utilizadas en la alimentación humana, tienen un gran potencial como alimento para peces, ya que se pueden producir de manera intensiva durante la mayor parte del año. Se requieren mayores esfuerzos para identificar y caracterizar nuevas leguminosas o sus subproductos, con atributos apropiados para sustituir a la harina de pescado en dietas para peces., así como también, evaluarlas en campo para comprobar su desempeño a escala comercial.

Introducción

De acuerdo con Tacon (1997), actualmente se observa en los países en desarrollo una tendencia a la intensificación en la acuicultura y con ella un incremento en el uso de alimentos artificiales, lo cual implica un incremento en la demanda de insumos para su fabricación entre los que destaca la harina de pescado, principal fuente de proteína, de la que los alimentos para peces contienen entre 50 y 75%. La industria de acuícola se encuentra ante un difícil panorama, ya que la disponibilidad de harina de pescado es incierta e inestable, además de que su creciente precio influye sobre el costo de los alimentos, limitando la rentabilidad de las empresas (McCoy, 1990)

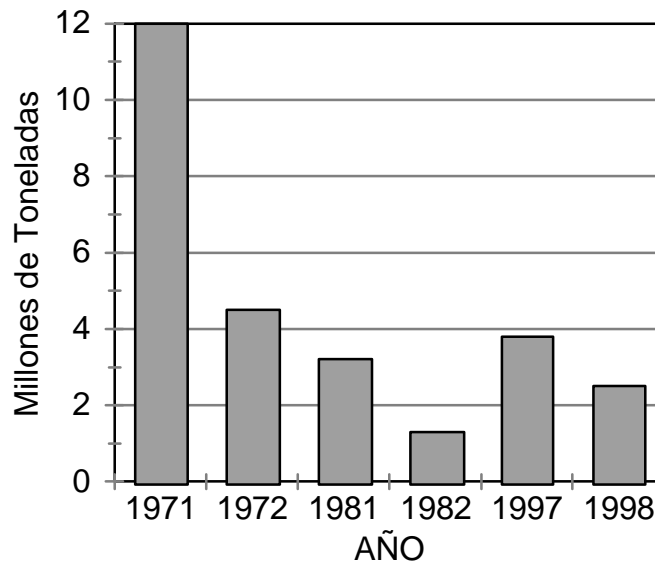


Figura1. Producción de harina de pescado en el Pacífico oriental durante los eventos de El Niño.

Entre los factores que más influyen sobre la disponibilidad de la harina de pescado destacan los ambientales, ya que afectan la abundancia de las poblaciones de peces usados en su fabricación. El ejemplo más claro es la anomalía de El Niño que desestabiliza cíclicamente a las poblaciones de anchoveta y a la producción de harina de pescado en el Pacífico oriental (Figura 1). Por ejemplo, El Niño de 1972 dio lugar a una captura de anchoveta de sólo 4.5

millones de toneladas, cantidad notablemente inferior a los 12 millones del año anterior. En El Niño de 1982-83 la captura cayó de 3.2 a 1.3 millones de toneladas, y se esperaba una caída aún mayor como resultado de El Niño de 1997-1998 (Anon. 1997), sin embargo, de acuerdo con estimaciones de la IFOMA (International Fishmeal and Oil Manufacturers Association) y la FEO (Fishmeal Exporters Organization), debido a los efectos de El Niño, durante los primeros nueve meses de 1998 la producción de harina de pescado sudamericana será de 1.63 millones de toneladas, la mitad de lo obtenido en el mismo período del año anterior, y se calcula que la producción para todo el año sólo llegaría a 2.5 millones de toneladas, contra 3.8 millones producidas el año anterior. Considerando la producción mundial, ésta se estima alcanzará solamente 4.5 millones de toneladas contra los 6.5 millones obtenidas en 1996 (Anon., 1998).

Como se puede apreciar, con cada evento de El Niño se reduce aún más la producción de harina de pescado en los países sudamericanos, sin que se recuperen los niveles de los años anteriores debido a la afectación de las poblaciones de anchoveta de la región, por lo que los pronósticos de producción de harina de pescado para los años venideros no son muy optimistas. Por otro lado, se considera que debido al crecimiento de la actividad para el año 2000 la acuicultura consumirá de 20 a 25% de la harina de pescado producida a nivel mundial, sin embargo se duda que la producción satisfaga sus necesidades (Bjerkeng *et al.*, 1997).

Esta incertidumbre en la disponibilidad de harina de pescado pone en riesgo el crecimiento de la actividad y la rentabilidad futura de los acuicultivos que dependen de los alimentos, por lo que se recomienda explorar nuevas alternativas de proteína para su formulación. Se considera que la opción más viable para reemplazar a la harina de pescado es la utilización de proteínas vegetales, dado que su producción está sólo limitada por la disponibilidad de tierra, y se puede extender durante todo el año si las condiciones ambientales lo permiten (Keembiyehetty y De Silva, 1993; Nengas *et al.*, 1996; Buentello *et al.*, 1997; Olvera *et al.*, 1997; Tacon, 1997). De hecho, los fabricantes de alimentos en Europa están ya explorando la inclusión de proteínas vegetales a fin de subsanar la escasez de la harina de pescado y de disminuir el costo de las dietas (Anon., 1997). Además de reducirse el problema de los alimentos, la inclusión de proteínas vegetales permitiría destinar al consumo de la población humana parte de los peces que actualmente se usan para fabricar harina.

Esta situación ha estimulado las investigaciones a fin de identificar proteínas vegetales con calidad nutricional adecuada que sustituyan a la proteína animal sin afectar el crecimiento de los peces. Entre los materiales probados se encuentran subproductos de semillas oleaginosas, proteínas unicelulares, concentrados proteicos, subproductos agroindustriales, macrofitas acuáticas, así como también semillas y hojas de leguminosas.

Generalidades de las leguminosas

La familia de las leguminosas es la tercera más importante dentro del reino vegetal, con 650 géneros y 18,000 especies que crecen en todos los medios y regiones climáticas, sin embargo solamente se utilizan alrededor de 20 de manera regular en la alimentación humana y animal o en la industria oleaginosa (NAS, 1979). Este grupo vegetal se distingue por su habilidad de fijar nitrógeno atmosférico y transferirlo al suelo para convertirlo en proteína (NAS, 1979; Jauncey y Ross, 1982).

Las semillas de leguminosas son el segundo grupo alimenticio en importancia para humanos y animales después de los cereales, y son de dos a tres veces más ricas en proteína que éstos (Bressani y Elias, 1980; Todorov, 1988).

La mayoría de las semillas de leguminosas son usadas principalmente para consumo humano, aún cuando algunas son producidas para la alimentación animal, como es el caso de los lupinos. Otras son cultivadas con fines industriales, como la soya usada principalmente para la extracción del aceite, y cuya harina es empleada en la alimentación animal. Además de las semillas secas, en algunas regiones se utilizan los granos tiernos y los ejotes, así como las hojas, ya sea para consumo humano o como forraje, como es el caso de la leucaena.

Calidad Nutricional

Como ya se mencionó, la principal característica de las semillas de leguminosas es su elevado contenido de proteína, con valores que van según la especie de 17 a 40 %, niveles aún mayores de carbohidratos y contenido variable de aceite, normalmente de 1 a 6% pero algunas semillas presentan contenidos más elevados como la soya o el cacahuate. De los minerales el fósforo es el más abundante, con bajo contenido de calcio, y se consideran una fuente rica en hierro. Su contenido de tiamina, riboflavina y niacina es también significativo, conteniendo además las otras vitaminas del complejo B, ácido ascórbico, vitamina K y tocoferoles. Su contenido de aminoácidos también varía con la especie, línea genética y condiciones de cultivo. Aún cuando son deficientes en aminoácidos sulfurados, son una fuente rica en lisina y generalmente contienen niveles adecuados de ácido aspártico, ácido glutámico y leucina, por lo que su combinación con cereales resulta en una mezcla bien balanceada para la alimentación humana o animal (NRC, 1977; Bressani y Elias, 1980; Liener, 1980; Nowacki, 1980; Rockland y Radke, 1981; Tacon, 1987; Todorov, 1988; Van der Poel, 1990; Kanamori *et al.*, 1982, citado por Kingman, 1991).

A pesar de su calidad nutrimental, las leguminosas contienen diferentes sustancias tóxicas o antinutricionales que afectan el metabolismo, entre los que se encuentran lectinas, flavonoides, alcaloides, taninos, aminoácidos libres, ácido cianhídrico, factores anti vitaminas D, E y B₁₂, goitrógenos y fitatos, entre otros, los cuales se pueden encontrar desde las hojas hasta en los granos, tiernos o secos, reduciendo su calidad alimenticia. Sin embargo, la mayoría de estos factores antinutricionales son eliminados con tratamientos de remojo y térmicos. Entre los antinutrientes más importantes se encuentran las lectinas inhibidoras de tripsina, quimiotripsina y alfa amilasa, que interfieren con la digestión de proteínas y carbohidratos, o impiden la absorción de aminoácidos en el tracto digestivo, sin embargo éstas se inactivan con tratamiento térmico. Otros antinutrientes como los aminoácidos libres, taninos, fitatos y saponinas son resistentes al calor, por lo que se requiere de tratamientos especiales para, en el mejor de los casos, reducir su actividad (NAS, 1979; Liener, 1980; Nowacki, 1980; Kingman, 1991; Jansman, 1993; Grant *et al.*, 1995; Pusztai *et al.*, 1995; Pickford, 1996)

Utilización de leguminosas en los alimentos acuícolas

La industria de alimentos balanceados para animales depende cada vez más de las leguminosas como fuente de proteína, utilizándose fundamentalmente semillas aún cuando se ha explorado también el uso de follaje como ingrediente en dietas artificiales o como alimento suplementario. La principal semilla utilizada es la soya, la cual no solo representa un aporte de proteína sino también de ácidos grasos esenciales cuando se utiliza harina integral sin desengrasar. Esta leguminosa representa una importante alternativa al uso de la harina de

pescado debido a la ya mencionada inestabilidad en su disponibilidad y a su elevado precio, sin embargo, esto ha dado lugar a que inclusive la soya presente los mismos problemas de la harina de pescado debido a su elevada demanda, afectando el costo de los alimentos y la economía de los acuicultores.

En este documento se hace una revisión con el propósito de identificar las diferentes leguminosas utilizadas a nivel experimental en la alimentación de peces, destacando las ventajas y desventajas de su uso y los niveles de inclusión recomendados. De acuerdo con los resultados obtenidos, la mayor parte de los estudios se basan en el uso de la semilla de soya, tanto desengrasada como entera, y una proporción muy baja de las investigaciones se orienta a la identificación de otras leguminosas como posibles ingredientes proteicos.

Semilla de Soya

La semilla de soya se considera como la fuente más importante de proteína vegetal para la alimentación animal, por ser una excelente fuente de proteínas y vitaminas (Bressani y Elias, 1980). Es la proteína vegetal más abundante y con uno de los mejores perfiles de aminoácidos de entre los ingredientes vegetales en relación con los requerimientos de los peces, por lo que se han hecho múltiples estudios para evaluar su eficiencia en dietas para peces (NRC, 1993; Lim *et al.*, 1998). Sin embargo, contiene factores antinutricionales termolábiles incluyendo inhibidores de tripsina, hemaglutininas, goitrógenos y factores antivitaminas D, E y B₁₂, además de antinutrientes resistentes al calor entre los que se encuentran saponinas, estrógenos, factores flatulentos y lisinoalanina, los cuales afectan su valor alimenticio y reducen la palatabilidad de los alimentos cuando se preparan con niveles elevados de este material. Adicionalmente, aproximadamente 70% del fósforo en la semilla se encuentra formando parte de fitatos por lo que no está disponible para los monogástricos. Los fitatos actúan como quelantes formando complejos indigeribles de proteína-ácido fítico que pueden reducir la disponibilidad de la proteína y minerales tales como el zinc, manganeso, cobre, molibdeno, calcio, magnesio y hierro (Tacon *et al.*, 1983; Webster *et al.*, 1992a; NRC, 1993; Webster *et al.*, 1995; Brown *et al.*, 1997; Vielma *et al.*, 1998).

Esta semilla se utiliza principalmente en forma de harina o pasta desengrasadas, subproductos de la industria oleaginosa, sin embargo se ha estudiado también el uso de la semilla entera sin desengrasar, y últimamente también el concentrado proteico. Debido a su contenido de antinutrientes es necesario darle un procesamiento térmico que mejore su calidad. El uso de la soya sin un tratamiento previo 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, aún cuando el efecto adverso es menor cuando el contenido proteico de la dieta es alto (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°C) durante 2.5 min, o por 30 min con calor húmedo (vapor; 90-95°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).

La soya entera tratada con calor posee una elevada calidad nutricional comparada con la harina desengrasada, debido a su alto contenido de proteína (>35%) y de aceite (>18%), el cual aporta energía y ácidos grasos de la serie linoleica, además de lecitina, colina e inositol. Por su contenido de lecitina es además una fuente importante de fósforo disponible. Los

resultados en la literatura aún cuando variables indican que la soya entera es un ingrediente adecuado en alimentos para trucha, carpa común), bagre, tilapia, lobina rayada y brema marina. Después de ser tratada con calor para eliminar los antinutrientes puede substituir entre 20 y 73% de la proteína animal dependiendo de la especie y estadio de desarrollo a alimentar, con una elevada digestibilidad de la proteína y la energía, y con resultados en crecimiento aún mejores a los obtenidos con harina de soya desengrasada para un mismo nivel de inclusión (Reinitz *et al.*, 1978; Tacon *et al.*, 1983; Abel *et al.*, 1984; Robinson *et al.*, 1985; Wilson y Poe, 1985; Shiau *et al.*, 1990; Nengas *et al.*, 1995, 1996).

Los resultados disponibles en la literatura son variables, ya que algunos autores mencionan que es posible substituir totalmente la harina de pescado con soya entera sin afectar el crecimiento, mientras que otros reportan efectos negativos por la inclusión de este material en las dietas. Por ejemplo, Brown *et al.* (1997) observaron reducción en el crecimiento de híbridos de lobina rayada al incluir más de 20% de soya entera tostada a 88°C, mientras que con 40% de inclusión la respuesta de los peces fue similar a la de aquellos alimentados con una dieta control. Por su parte, Nengas *et al.*, (1996) observaron que la brema marina (*S. aurata*) tiene un mejor crecimiento cuando en su dieta se incluye 35% de la proteína a base de soya entera calentada a 150° y cocinada por 45 min a 110°C, comparado con una dieta control. Estas respuestas confirman que la calidad de la semilla y el desempeño de los animales depende del tipo de tratamiento térmico aplicado, que permiten desactivar a los inhibidores de tripsina y hacer más digerible la proteína sin afectar el valor biológico de la semilla, sin embargo persiste el problema asociado a otros antinutrientes resistentes al calor, especialmente el ácido fítico, que reducen la disponibilidad de proteína y minerales necesarios para el crecimiento. En la Tabla 1 se presentan algunos resultados experimentales del uso de la soya sin desengrasar en la alimentación de peces.

Tabla 1. Resultados del uso de soya entera en la alimentación de peces, después de aplicarle diversos tratamientos térmicos.

Tratamiento	Especie	Inclusión ¹ (%)	TCA ²	TEC ³	Referencias
Tostada	Trucha	50	1.14	1.63	Tacon <i>et al.</i> , 1983
Calor seco (156°C) a presión por 1 min	Trucha	73	1.58		Reinitz <i>et al.</i> , 1978
Descascarada y hervida por una hora	Tilapia	58*	1.68	2.41	Wee y Shu, 1989
No especificado	Tilapia	30	1.31	---	Shiau <i>et al.</i> , 1990
Vapor de agua 90-95°C, 30 min	Carpa	50*	1.60	---	Abel <i>et al.</i> , 1984
Extruida en seco 30 seg a 149°C	Bagre	30	1.22	---	Robinson <i>et al.</i> , 1985
Calentada 150°C, hervida 45 min a 110°C	Brema marina	35	1.47	2.45	Nengas <i>et al.</i> 1996
Tostada	Lobina rallada	20*	1.28	---	Brown <i>et al.</i> , 1997

¹Porcentaje de sustitución de proteína animal. El asterisco (*) indica porcentaje de inclusión en la dieta

²Tasa de Conversión Alimenticia

³Tasa Específica de Crecimiento (%/día)

Debido a su alta calidad nutricional, con alrededor de 45% de proteína y 1.0% de aceite (McDowell *et al.*, 1974), la harina de soya es la proteína vegetal más ampliamente utilizada en la alimentación de peces cultivados, con resultados variables entre las especies. Se ha usado en alimentos para trucha, carpa, bagre, carpa herbívora y tilapia, sustituyendo en algunos casos hasta el 100% de la harina de pescado, sin embargo, altos niveles de soya en el alimento generalmente provocan reducción del crecimiento por desbalance de aminoácidos y energía así como por la presencia de antinutrientes. Algunos autores recomiendan suplementar los aminoácidos limitantes, particularmente metionina, triptófano y lisina, pero los resultados benéficos no han sido concluyentes. Otra alternativa es la utilización de la harina de soya combinada con otra proteína vegetal a fin de subsanar con la mezcla las deficiencias de cada una, lográndose substituir sin problemas el 100% de la harina de pescado en dietas para bagre de canal. Se recomienda también adicionar aceite como fuente de energía suplementaria y fósforo para aliviar la baja capacidad de los peces para digerir los fitatos (Wu y Jan, 1977; Davis y Stickney, 1978; 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; Viola *et al.*, 1988a; Mohsen y Lovell, 1990; Shiau *et al.*, 1990; Webster *et al.*, 1992a,b).

Como se observa en la Tabla 2, la mayor parte de las investigaciones relacionadas con la inclusión de harina de soya se han realizado con salmónidos, bagre, carpa y tilapias. En el caso de la trucha, se ha visto que estos organismos, a pesar de ser carnívoros, tienen buena respuesta en crecimiento con dietas incluyendo diversas cantidades de este material, pero ésta depende del estado de desarrollo del animal, la densidad de siembra y el método de alimentación, además del tipo de procesamiento previo aplicado a la harina para inactivar los antinutrientes.

Debido a la gran cantidad de publicaciones relacionadas con la harina de soya, solamente se discutirán las más recientes o relevantes para destacar el efecto de su uso en la dieta para peces. Por ejemplo, Moyano *et al.*, 1992 observaron que el crecimiento de la trucha se afectó cuando suministraron dietas sin proteína animal, en las que se incluyó 19 y 28% de harina de soya en combinación con otras proteínas vegetales, sin embargo, Rumsey *et al.* (1993) no observaron diferencias en el crecimiento con respecto a la harina de pescado cuando incluyeron 47% de la proteína por medio de harina de soya. En otro experimento, Refstie *et al.* (1997) no encontraron diferencias significativas en el crecimiento con respecto a dietas a base de harina de pescado cuando suministraron dietas donde 67% de la proteína provenía de la soya, por lo que consideran que la trucha no es afectada por la soya después de un mes de adaptación a este ingrediente.

En cuanto a experiencias con otros salmónidos, Olli y Krogdahl (1995) no observaron diferencias en la ganancia de peso y composición corporal al alimentar salmón del Atlántico (*Salmo salar*) con dietas donde 20% de la proteína se suministró con soya, pero obtuvieron efectos adversos al sustituir 40% de la proteína animal, lo cual atribuyen a deficiencias de minerales relacionadas con el ácido fítico. En otro estudio, Refstie *et al.* (1998) utilizaron una dieta que incluyó 40% de proteína de soya extraída estándar o extraída baja en oligosacáridos y antinutrientes, y observaron que el crecimiento y la conversión alimenticia fueron similares a los obtenidos con una dieta a base de harina de pescado, y mejores con las dietas a base de la soya baja en antinutrientes en comparación con la soya estándar, aun cuando la digestibilidad fue menor en las dietas con soya. Este resultado es atribuido al efecto de los antinutrientes de la soya, los cuales fueron eliminados en la harina mejorada.

Tabla 2. Resultados del uso de harina de soya desengrasada y concentrado de proteína de soya en la alimentación de peces.

Proceso	Especie	Inclusión (%)	TCA	TEC	VBN ¹ (%)	Referencias
Extraída con alcohol	Trucha	75.00	1.17	1.52	32.43	Tacon <i>et al.</i> , 1983
Extraída	Trucha	15*	1.70	---	---	Reinitz, 1983
Extraída	Trucha	15*	1.60	1.10	25.60	Tacon <i>et al.</i> , 1984
Extraída	Trucha	15.00	1.70	---	---	Alexis <i>et al.</i> , 1985
Extraída	Trucha	28.00	1.64	0.63	31.00	Moyano <i>et al.</i> , 1992
Extraída con solvente	Trucha	47.00	1.00	---	39.60	Rumsey <i>et al.</i> , 1993
Harina tostada	Trucha	67.00	---	1.78	---	Refstie <i>et al.</i> , 1997
Harina tostada	Salmón	40.00	0.92	1.19	---	Refstie <i>et al.</i> , 1998
Mezcla harina y cruda extruida	Bagre	57**	1.24	---	---	Robinson <i>et al.</i> , 1985
Cocida a vapor 120°, 10 min	Bagre	48*	1.67	---	---	Mohsen y Lovell, 1990
Extraída	B. azul	48*	2.13	2.18	---	Webster <i>et al.</i> , 1992
Extraída	B. azul	64*	2.21	1.67	---	Webster <i>et al.</i> , 1995
Extraída	Bagre	20.00	1.69	---	---	Robinson y Li, 1994
Extraída	Bagre	45*	1.55	---	---	Robinson y Li, 1998
Extraída	Bagre	45*	1.53	---	34.60	Lim <i>et al.</i> , 1998
Extraída	Tilapia	100	1.45	---	---	Davis and Stickney, 1978
Extraída	Tilapia	100	2.35	0.95	---	Viola <i>et al.</i> , 1988a
Extraída	Tilapia	30	1.11	---	---	Shiau <i>et al.</i> , 1990
Extraída	Tilapia	24*	1.33	---	---	Twibell y Brown, 1998
Extraída	Tambor	50.00	1.49	---	---	Reigh y Ellis, 1992
Concentrado proteico	brema marina	35.00	1.61	2.18	21.76	Nengas <i>et al.</i> , 1996
Concentrado proteico	Trucha	50*	1.00	---	---	Vielma <i>et al.</i> , 1998

¹Valor biológico del nitrógeno, utilización aparente.

** Dieta conteniendo 57% de mezcla de soya y 24% de maíz cocinado como única fuente de proteína

Algunos estudios han sugerido que el uso de niveles elevados de harina de soya confieren mal sabor a la carne de salmónidos debido a la acción de lipooxigenasas y sus residuos metabólicos, sin embargo Bjerkeng *et al.* (1997) demostraron que el salmón del Atlántico alimentado con dietas donde 10% de su proteína proviene de soya entera, no presenta ningún sabor diferente al de los peces alimentados con dietas a base de harina de pescado.

Las experiencias con bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) han sido más exitosas en cuanto a la respuesta del animal a dietas con alto contenido de soya, la cual se considera la proteína primaria en sus dietas. Por ejemplo, Robinson *et al.* (1985) obtuvieron mejor crecimiento y eficiencia alimenticia en bagres alimentados con dietas sin proteína animal, preparadas con una mezcla de harina de soya (70%) y soya entera (30%) que fue cocida por extrusión (149°C, 30 seg), esto en comparación a una dieta control sin soya. Ellos consideran que el tratamiento térmico inactivó los antinutrientes de la soya y aumentó la digestibilidad de la proteína. Esta teoría fue confirmada por Wilson y Poe (1985), quienes probaron dietas con 25 ó 35% de proteína sometidas a calor húmedo por diferentes tiempos para inactivar los inhibidores de tripsina, y observaron una mejora progresiva en el crecimiento a medida que se redujo la actividad de estos antinutrientes, además de que a un mayor nivel proteico los bagres resistían una mayor concentración de los inhibidores, con los mejores resultados a partir de 83% de destrucción de inhibidores, correspondiente a 3.2 mg IT/g de dieta.

Mohsen y Lovell (1990), cambiando la tendencia de sustitución de la harina de pescado con proteínas vegetales, estudiaron la necesidad de incluir proteína animal en dietas para bagre. Ellos observaron que para un óptimo crecimiento es necesario incluir 10% de harina de pescado en dietas con 48% de harina de soya y 35.44% de maíz en dietas con 32% de proteína, lo cual se atribuye a un mejor balance de aminoácidos y una mayor palatabilidad de las dietas. Este mismo resultado fue obtenido por Webster *et al.* (1992) cuando probaron la sustitución de harina de pescado con soya en dietas con 34% de proteína en dietas para bagre azul (*I. furcatus*), concluyendo que su dieta debe tener 48% de harina de soya y 13% de pescado para un óptimo crecimiento. Lim *et al.* (1998) obtuvieron el mejor crecimiento y eficiencia alimenticia en bagre de canal cuando le suministraron a saciación dietas con 29% de proteína que contenían 45% de harina de soya y sólo 8% de harina de pescado.

Los estudios finalmente demostraron la factibilidad de usar dietas con 100% de proteína vegetal en dietas para bagre. En este sentido, Webster *et al.* (1995) determinaron que es posible eliminar totalmente la harina de pescado en dietas para bagre azul en dietas con 35% de proteína y 64% de harina de soya, suplementadas con 0.90% de L-metionina y 2% de fosfato dicálcico con el propósito de eliminar las deficiencias del aminoácido en la soya y aumentar la disponibilidad de fósforo. Por su parte, Robinson y Li (1998) no observaron diferencias estadísticas en la ganancia de peso cuando alimentaron a saciación bagres con dietas con 28 y 32% de proteína con o sin proteína animal, incluyendo en la dieta sin proteína animal una mezcla de harina de soya, harina de semilla de algodón, así como desperdicios de maíz y de trigo. Ellos consideran que si el balance de aminoácidos es adecuado y si se alimenta a saciación, es posible eliminar la proteína animal sin afectar el crecimiento de los bagres cultivados en estanques, mismo resultado que ya habían obtenido previamente usando mezclas de harina de soya y de semilla de algodón (Robinson y Li, 1994).

El uso de la soya en dietas para carpa ha tenido resultados variables debido a problemas de este organismo para digerir los carbohidratos complejos, y su sensibilidad a los antinutrientes y deficiencia de lisina en la semilla, sin embargo cuando se le da un tratamiento térmico adecuado y se suplementa la dieta con aceite (5-10%) para aumentar la disponibilidad de energía, y de aminoácidos, en particular metionina (0.25-0.50%), es posible utilizar dietas con al menos 50% de harina de soya sin efectos adversos sobre el crecimiento y eficiencia alimenticia (Viola *et al.*, 1981/1982; Viola *et al.*, 1983; Murai *et al.*, 1989; Degani *et al.*, 1997).

Posiblemente debido a la reciente tendencia a la intensificación en el cultivo de tilapia, los estudios relacionados con el uso de harina de soya en su dieta no ha sido muy abundantes, en comparación a los esfuerzos con los salmónidos o el bagre. Los resultados de sustitución de harina de pescado con esta proteína en la alimentación de tilapia han sido favorables, posiblemente debido a sus hábitos alimenticios predominantemente herbívoros que le permiten hacer un mejor uso de la materia vegetal, incluyendo sus carbohidratos. Por ejemplo, Davis y Stickney en 1978 no observaron diferencias en el crecimiento con respecto a un control al incluir 100% de la proteína con harina de soya en dietas con 36% de proteína, lo cual fue atribuido al elevado nivel proteico del alimento. Por su parte Shiau *et al.* (1990), con dietas bajas en proteína (24%) observaron un crecimiento similar al control cuando sustituyen 30% de la proteína con soya.

Viola *et al.* (1988a) confirmaron que es posible cultivar tilapia con dietas libres de proteína animal en dietas a base de harina de soya y 30% de proteína dietética, determinando que el nutriente esencial a suplementar para evitar deficiencias nutricionales es el fósforo, lo cual se subsana al adicionar a las dietas 3% de fosfato dicálcico. Recientemente, Twibell y Brown (1998) estudiaron el efecto del nivel proteico de la dieta en alimentos a base de ingredientes vegetales entre los que se incluyó a la harina de soya. El mejor crecimiento lo obtuvieron con dietas con 30% de proteína, las cuales contenían 24% de harina de soya y suplementadas con 3% de fosfato dicálcico, sin embargo sus resultados no fueron estadísticamente diferentes a los obtenidos con 24% ó 32% de proteína, ésta última con 29% de harina de soya. Los autores consideran que siendo ésta la principal fuente proteica en la dieta, se demuestra que la tilapia puede utilizar eficientemente este ingrediente a pesar de sus antinutrientes.

El empleo de harina de soya en dietas para peces marinos no ha sido tan exitoso como en el caso de los dulceacuícolas, fundamentalmente debido a deficiencias de aminoácidos, su sensibilidad a los efectos de los antinutrientes y aparentemente deficiencias energéticas, por una baja capacidad de utilización de carbohidratos, y en general, una baja disponibilidad de energía digerible, además de problemas en la aceptación del alimento con niveles elevados de materia vegetal. Los estudios indican que las dietas para tambor rojo (*Sciaenops ocellatus*) deben tener un máximo de 50% de proteína de harina de soya a fin de no tener problemas en el crecimiento, sin embargo, en el caso de la brema marina (*Sparus aurata*), el nivel máximo sin que se presenten problemas es de 20% (Reigh and Ellis, 1992; Nengas *et al.*, 1995, 1996)

En cuanto a la utilización de concentrados proteicos de soya (CPS) en la alimentación, los resultados son variables, posiblemente debido al estado de desarrollo y especie del pez alimentado. Por ejemplo, Escaffre *et al.* (1997) observaron efectos adversos por la inclusión de niveles elevados de CPS en dietas para larvas de carpa común, sin embargo, vieron que es posible incluir un máximo de 40% de este ingrediente sin resultados diferentes al control. Ellos atribuyeron el bajo desempeño de los animales al efecto de los inhibidores de tripsina presentes a nivel residual en la proteína, sin embargo, Vielma *et al.* (1998) consideran que el principal factor que influye sobre el uso de este material se relaciona con su contenido de fitatos y la baja disponibilidad de fósforo. Aksnes y Opstvedt (1998) estudiaron la digestibilidad de la proteína y energía del CPS en comparación a otras fuentes proteicas para alimentar trucha, y observaron valores similares de digestibilidad de la proteína entre el CPS y la harina de pescado, sin embargo al incrementar el contenido de CPS de 15 a 45% observan una gradual reducción en la energía digerible, lo cual explican con una relación con el contenido elevado de carbohidratos en la dieta. Estos resultados indican que el CPS podría tener valor en la alimentación de peces, sin embargo son necesarias más investigaciones para establecer los

mejores niveles de inclusión y los suplementos dietarios necesarios para un máximo nivel de inclusión para óptimo desarrollo del animal.

Un problema asociado al uso de proteínas vegetales y en particular con la soya, se relaciona con el hecho que alrededor de 2/3 del fósforo de la semilla se encuentra en forma de fitatos, de manera que los peces no pueden hacer uso de este nutriente, con los consecuentes efectos sobre el crecimiento. Diversos estudios indican que la suplementación de las dietas con fitasa bacteriana mejora la utilización alimenticia, el crecimiento y mineralización de bagres, carpa y truchas, con mejoras en la absorción neta de fósforo que van del 76 al 100% en comparación a peces alimentados con dietas no suplementadas. Se han probado diversas concentraciones de la enzima, llegándose a la conclusión que la adición de 1,000 unidades de fitasa por kg de dieta son suficientes para incrementar en al menos 75% la absorción de este mineral, aún cuando en el caso de crías de bagre la mejor respuesta se obtuvo con tan solo 500 unidades (Rodehutschord y Pfeffer, 1995; Schäfer *et al.*, 1995; Jackson *et al.*, 1996; Eya y Lovell, 1997; Vielma *et al.*, 1998)

Lupino

Existen alrededor de 300 especies de lupino, de las cuales sólo cinco se cultivan para usarse en la alimentación humana y animal, fundamentalmente en países europeos, Sudáfrica, Australia, Estados Unidos y del Mediterráneo. Su contenido de proteína es de 32-38% y de aceite 8-12% que le confiere una buena calidad nutricional, además de que es altamente digerible, sin embargo, es deficiente en lisina y metionina. No contiene hemaglutininas (lectinas) ni inhibidores de tripsina pero si oligosacáridos que pueden tener baja digestibilidad como los α -galactósidos, o altos niveles del alcaloides hidrosolubles como la quinolizadina que reducen su palatabilidad y en ocasiones causa desordenes nerviosos, sin embargo se han desarrollado líneas “dulces” libres de estas sustancias. La especie más comúnmente utilizada en alimentación animal es el lupino blanco, *Lupinus albus* (Hughes, 1988; Moyano *et al.*, 1992; Alonso, 1997; Burel *et al.*, 1998). En la Tabla 3 se presentan algunos resultados relevantes.

Tabla 3. Resultados del uso de lupino en la alimentación de peces

Semilla	Especie	Inclusión ¹ (%)	TCA	TEC	VBN (%)	Referencias
Lupino dulce	Tilapia	40*	---	1.00	17.6	Viola <i>et al.</i> , 1988
Lupino blanco	Trucha	30	1.24	---	---	Higuera <i>et al.</i> , 1988
Lupino blanco	Trucha	40*	1.25	---	---	Hughes, 1988
Lupino blanco	Trucha	27*	1.23	0.86	---	Moyano <i>et al.</i> , 1992
Lupino blanco descascarado	Trucha	40*	1.39	---	---	Hughes, 1991
Lupino blanco extruido	Trucha	50*	1.01	---	---	Burel <i>et al.</i> , 1998
Lupino dulce	Brema marina	30	1.78	---	---	Moyano <i>et al.</i> , 1995

¹Porcentaje de sustitución de proteína animal. El asterisco (*) indica porcentaje de inclusión en la dieta

La semilla de lupino se ha probado fundamentalmente en la alimentación de trucha como sustituto de la soya cruda o desengrasada. En este sentido, Higuera *et al.* (1988) estudiaron el efecto de incluir entre 10 y 40% de la proteína con lupino blanco crudo o tratado en autoclave por 30 min en dietas para estos peces. Observaron un mejor consumo a bajos niveles de inclusión de la semilla, reduciéndose a medida que se incrementó la sustitución, lo cual es atribuido a la presencia de alcaloides que afectaron las propiedades organolépticas de la dieta; la TCA fue semejante entre todos los tratamientos salvo en el nivel más elevado de sustitución. A bajo nivel de inclusión el crecimiento fue mejor con la semilla tratada, sin embargo se redujo a medida que aumentó la cantidad de proteína vegetal, de manera que la mejor sustitución correspondió a 30% e proteína de semilla cruda. Ellos creen que el tratamiento térmico pudo afectar la disponibilidad de aminoácidos, especialmente lisina, por su reacción con carbohidratos, por lo que no se recomienda tratar a esta semilla con calor.

Huges, 1988. Estudió el efecto de sustituir la soya entera con lupino blanco en dietas para trucha. Observó que la trucha utiliza esta semilla de manera semejante a la soya. Aún cuando el valor energético del lupino es bajo por su menor contenido de aceite, aparentemente la disponibilidad de su proteína es mayor debido a que su digestibilidad es más elevada que la de la soya entera. El crecimiento de la trucha alimentada con lupino fue semejante al obtenido con soya para los dos niveles de inclusión probados, por lo que puede ser usado como proteína primaria o secundaria. En otro estudio, Huges (1991) evaluó el efecto de utilizar lupino blanco descascarado con 39% de proteína en lugar de la semilla sin procesar, con o sin suplementación de aceite, a un nivel de inclusión de 40% en la dieta, observando que la semilla descascarada dio mejores resultados en términos de crecimiento y eficiencia alimenticia, aún cuando no fueron significativamente mejores a los de la semilla entera. Dado que no se obtuvo una mejora significativa por la adición de aceite, tampoco se recomienda su suplementación para no incidir en los costos de la dieta. Moyano *et al.* (1992) obtuvieron resultados similares al control cuando usaron dietas conteniendo de 50 a 70% de una mezcla de proteínas vegetales, incluyendo gluten de maíz, concentrado proteico de papa y semilla de lupino blanco como sustituto de la harina de soya. Ellos consideran que este tipo de dietas son más baratas que las elaboradas a base de harina de pescado.

Recientemente Burel *et al.* (1998) estudiaron el efecto de incluir de 30 a 70% de lupino blanco extruido en la dieta para trucha. Observaron que el crecimiento y eficiencia alimenticia se reducen al incluir más de 50% de semilla en la dieta. Debido a su elevada digestibilidad, se observa una reducción en la descarga de fósforo al agua, posiblemente por una mayor asimilación por el pez, factor que permitiría reducir el impacto de los efluentes de las granjas sobre el entorno. La inclusión de 70% de semilla dio resultados variables dependiendo de la semilla usada por lo que este nivel sólo se debe usar después de evaluar la línea de lupino disponible.

En el caso de la alimentación de tilapia, Viola *et al.* (1988b) estudiaron el efecto de sustituir 30 y 45% de la proteína animal con semilla de lupino dulce (*L. angustifolius*) en sus dietas. Ellos observaron que en ambos niveles los animales crecieron igual o mejor que un control, lo cual es atribuido a que posiblemente los carbohidratos de la semilla son más digeribles que los de soya, además de la capacidad de la tilapia para digerir carbohidratos, lo cual aparentemente permitió destinar mayor proporción de la proteína al crecimiento.

La semilla de lupino dulce también ha sido probada en la alimentación de peces marinos. Robaina *et al.* (1995) probaron dietas donde se sustituyó 10, 20 y 30% de la proteína animal con la de la semilla. No observaron rechazo por el alimento a ningún nivel de inclusión, y en

términos de crecimiento y eficiencia alimenticia fue ligeramente mejor a la de la soya, ya que en términos generales los resultados de crecimiento fueron mejores con 30% de proteína de lupino en comparación al mismo nivel de harina de soya, sin embargo se observó engrasamiento hepático con dietas con más de 20% de proteína a partir de lupino.

Otras leguminosas

Una gran variedad de otras leguminosas se ha probado en la alimentación de los peces, fundamentalmente como ingrediente proteico secundario a la soya y la harina de semilla de algodón, considerando que la producción de proteínas vegetales primarias está limitada por factores climáticos y geográficos, que afectan su disponibilidad principalmente en países tropicales del tercer mundo, además de la necesidad de procesarlos para eliminar sus factores antinutricionales (Gouveia y Davies, 1998). Estas proteínas alternativas en algunos casos se ha explorado también su uso como ingrediente principal. Entre los materiales que se han estudiado se encuentran la harina o pasta de cacahuete (*Arachis hypogaea*), alfalfa (*Medicago sativa*), chícharo (*Pisum sativum*), frijol (*Phaseolus* spp.), haba (*Vicia faba*), vigna (*Vigna unguiculata*), canavalia (*Canavalia ensiformis*), sesbania (*Sesbania grandiflora*), y hojas de leucaena (*Leucaena leucocephala*). Su inclusión en las dietas ha dado resultados más o menos favorables dependiendo del origen y tipo de material y tratamiento a que se haya sometido previamente. En la Tabla 4 se presentan algunos de los resultados obtenidos con el uso de estas leguminosas.

Semilla de Cacahuete

La harina de cacahuete se ha utilizado en la alimentación de peces como ingrediente secundario mezclado con otras proteínas vegetales. Su valor nutricional es elevado, con contenido proteico de 45 a 60% y 1-7% de grasa según el método de procesamiento (McDowell *et al.*, 1974), sin embargo es deficiente en lisina, metionina y treonina, además de que puede contener aflatoxinas. De acuerdo con Göhl (1991), su mezcla con harina de ajonjolí resulta en un suplemento proteico bien balanceado para alimentar peces. Es un insumo adecuado para alimentos para tilapia, bagre y carpa, siempre y cuando no exceda niveles de inclusión superiores al 25% ya que afecta el crecimiento, probablemente debido a la presencia de aflatoxinas, desbalance de aminoácidos y baja palatabilidad. 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, con resultados mejores para el cacahuete comparado con el algodón (Jackson *et al.*, 1981, 1982; Robinson *et al.*, 1984b; Hasan *et al.*, 1997).

Chícharo

Los chícharos se cultivan ampliamente a nivel mundial principalmente para consumo humano ya sea frescos o secos. Se ha considerado el uso de las semillas en la alimentación de peces debido a su adecuado valor nutricional (25% proteína y 2% de aceite, McDowell *et al.*, 1974) y bajo contenido de antinutrientes. Gouveia y Davies (1998) estudiaron el efecto de incluir 20 y 40% de harina de semilla de chícharo en dietas para lobina marina (*D. labrax*), observando los mejores resultados con el mayor nivel de inclusión, que correspondió a una sustitución del 18% de la proteína animal. Este resultado es atribuido a su bajo contenido de antinutrientes y efectos marginales de aminoácidos limitantes, sin embargo, observaron una ligera reducción en la digestibilidad de la energía y los carbohidratos. Al respecto, Pfeffer *et al.* (1995)

observaron un incremento significativo en la digestibilidad de los chícharos al someterlos a tratamiento en autoclave (121°C, 20 min). Ellos probaron dos niveles de inclusión en dietas para trucha, observando los mejores resultados al incluir 25% de la semilla tratada en el alimento.

Tabla 3. Resultados del uso de leguminosas no convencionales en la alimentación de peces

Leguminosa	Especie	Inclusión ¹ (%)	TCA	TEC	VBN (%)	Referencias
Cacahuete	Tilapia	25	2.16	1.07	---	Jackson <i>et al.</i> , 1982
Cacahuete	Tilapia	25*	1.51	---	---	Robinson <i>et al.</i> , 1984b
Cacahuete	Bagre	25*	1.11	---	---	Robinson <i>et al.</i> , 1984a
Cacahuete	Carpa	25	2.63	6.82	11.60	Hasan <i>et al.</i> , 1997
Chícharo	Lobina	18	1.58	1.77	16.78	Gouveia y Davies, 1998
Hoja de leucaena	Tilapia	25	2.00	0.89	---	Jackson <i>et al.</i> , 1982
H. de leucaena remojada	Tilapia	25	1.46	2.70	---	Wee y Wang, 1987
Hoja de leucaena	Carpa	25	8.13	3.53	3.87	Hasan <i>et al.</i> , 1997
Conc. foliar de alfalfa	Tilapia	35	1.07	4.48	35.79	Olvera <i>et al.</i> , 1990
Hoja de alfalfa	Tilapia	5	2.20	0.83	18.63	Yusif <i>et al.</i> , 1994
Canavalia hervida	Tilapia	25	0.96	3.14	37.88	Martínez <i>et al.</i> , 1988
Sesbania remojada	Tilapia	25	1.53	1.98	24.21	Olvera <i>et al.</i> , 1998
Frijol verde	Tilapia	37	1.90	---	28.60	De Silva y Gunasekera, 1989
Frijol negro	Tilapia	33	2.09	---	27.73	Keembiyehetty y De Silva, 1993
Semilla de vigna	Tilapia	33	1.96	---	32.01	Keembiyehetty y De Silva, 1993
Conc. proteico de vigna	Tilapia	30	0.77	5.76	45.50	Olvera <i>et al.</i> , 1997

¹Porcentaje de sustitución de proteína animal. El asterisco (*) indica porcentaje de inclusión en la dieta

Leucaena

La leucaena (*Leucaena leucocephala*) ha recibido especial atención por el uso de su hoja como forraje de rumiantes en países tropicales, aún cuando la presencia del aminoácido libre mimosina limita su uso en monogástricos debido a su alta toxicidad. La harina de sus hojas se ha probado en alimentos para tilapia con resultados variables. La inclusión en su dieta provoca reducción en el crecimiento y baja eficiencia de conversión alimenticia debido al efecto de la

mimosina y a su deficiencia de aminoácidos sulfurados. Cuando la harina 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 sobre el crecimiento (Jackson *et al.*, 1982; Wee y Wang, 1987), mientras que las dietas para reproductores no deben contener más de 40% del material para evitar efectos sobre la producción de crías (Santiago *et al.*, 1988). Por otro lado, Hasan *et al.* (1988) observaron bajo crecimiento y eficiencia alimenticia al alimentar a la carpa con dietas conteniendo 25% de harina de hoja de leucaena, por lo que no la recomiendan para incluirla en su alimentación.

Alfalfa

La alfalfa es una leguminosa ampliamente utilizada como forraje en la alimentación animal. En México se ha usado fresca para alimentar carpa herbívora pero poco se ha estudiado como ingrediente en las dietas para peces. Yusif *et al.* (1994) incluyó harina de hojas de alfalfa en dietas para tilapia, obteniendo resultados inferiores al control aún con el menor nivel de sustitución (5% de la proteína). Este resultado se atribuye a la presencia de inhibidores de tripsina y deficiencia de aminoácidos, en particular metionina y lisina. Otros factores no mencionados por los autores podrían ser el contenido de saponinas en este material, así como la presencia de celulosa que afectaría la digestibilidad y utilización del alimento. A fin de evitar estos problemas, Olvera *et al.* (1990) estudiaron la inclusión de dos concentrados proteicos en alimentos para tilapia. Los mejores resultados se obtuvieron con la sustitución de proteína animal con 15% de proteína cloroplástica ó 15 y 35% de proteína citoplásmica. Niveles de sustitución más elevados causaron bajo crecimiento, lo cual se atribuyó a deficiencias de aminoácidos y presencia de inhibidores de tripsina. Se considera que se puede sustituir 35% de la proteína animal con concentrado citoplásmico de alfalfa con resultados mejores a una dieta a base de harina de pescado.

Otras leguminosas no convencionales

El uso de otras semillas de leguminosas ha dado resultados variables, dependiendo fundamentalmente por su contenido de antinutrientes. Por ejemplo, cuando se incluyó harina de semillas de *Canavalia ensiformis* (22-29% de proteína) y *Sesbania grandiflora* (39% proteína, 5% lípidos) en dietas para tilapia, se observó reducción en el crecimiento atribuido a la presencia del aminoácido tóxico canavanina, sin embargo, sí se remoja la sesbania 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 ya 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, siendo posible sustituir también 25% de la proteína sin afectar el crecimiento (Martínez *et al.*, 1988; Olvera *et al.*, 1988).

En el caso de frijoles, De Silva y Gunasekera (1989) evaluaron el efecto de sustituir la proteína animal con el frijol verde (*Phaseolus aureus*, sin. *Vigna radiata*; 24% proteína, 4% lípidos), con resultados adecuados al incluir hasta un máximo de 37% de proteína vegetal en dietas con 30% de proteína. Por su parte, Keembiyehetty y De Silva (1993) probaron el efecto de sustituir la harina de pescado con harina de frijol negro (*P. mungo*; 25% proteína, 3% lípidos) en dietas para tilapia con diferentes niveles proteicos. Ellos observaron que se puede proporcionar hasta 33% de proteína a través de esta semilla en dietas con 25% de proteína sin afectar el desempeño de los animales. Estos mismos autores probaron la inclusión de harina de *Vigna*

catiáng (25% proteína, 8% lípidos) en la dieta de tilapia, determinando que es posible sustituir también 33% de la proteína animal con esta semilla en dietas con 25% de proteína. La reducción en el crecimiento de los peces con niveles de sustitución mayores a los señalados son atribuidos en general a desbalance de aminoácidos, presencia de antinutrientes y problemas en la digestibilidad.

Una forma de evitar los problemas de baja digestibilidad de las leguminosas relacionados con su contenido de carbohidratos complejos es la utilización de concentrados proteicos. En el procesamiento a que se somete la planta se eliminan fibras, almidón y antinutrientes hidrosolubles, y se reduce o inactiva a los termolábiles, aún cuando existe el riesgo de concentrar a los antinutrientes resistentes al calor y que no se pierden en el lavado. Entre los ejemplos de la factibilidad de utilización de estos productos se hayan los ya mencionados concentrados de proteína foliar de alfalfa (Olvera *et al.*, 1990), y más recientemente, el de la utilización de concentrado proteico de semilla de *Vigna unguiculata* (Olvera *et al.*, 1997). En este caso se utilizó un concentrado derivado del procesamiento de la semilla para producir almidón, por lo que el concentrado proteico se puede considerar un subproducto de alto valor nutricional. El material se incluyó sustituyendo gradualmente a la proteína animal en dietas para tilapia, observándose respuestas en crecimiento y eficiencia alimenticia mejores a la dieta control inclusive con el máximo nivel de sustitución (50%), aún cuando los mejores resultados se obtuvieron con 30% de proteína vegetal; se considera que la reducción en el desempeño de los peces con niveles superiores al señalado se debe a la presencia de fitatos, cuyos niveles aún cuando son menores a los que se presentan en la soya, pudieron interferir con la absorción de minerales y en particular zinc, ya que se observó que durante la producción del concentrado se elimina totalmente a los inhibidores de tripsina, lo cual se confirmó con altos valores en los resultados en digestibilidad de la materia orgánica y la proteína.

Discusión general y conclusiones

Las leguminosas están consideradas como la fuente de proteína vegetal más importante, con características nutricionales ventajosas para sustituir a la harina de pescado en dietas acuícolas. Para producir harina de pescado con la calidad requerida por la acuicultura es necesario explotar poblaciones monoespecíficas de peces, las cuales como el caso de la anchoveta chilena están disminuyendo por efectos climáticos y la captura cada vez más intensa para satisfacer la demanda. A diferencia de las pesquerías, el cultivo de leguminosas prácticamente no tiene restricciones ya que su único límite sería la disponibilidad de tierra y agua en un medio ambiente propicio, elementos que se encuentran en abundancia en los trópicos, donde el clima es favorable para la agricultura casi todo el año. Una ventaja adicional de usar proteínas vegetales sería el destinar para el consumo humano parte de los peces que actualmente se queman para fabricar harina, dentro de un esquema de pesca responsable.

Tal como lo demuestran los resultados de las investigaciones aquí expuestos, es factible sustituir hasta el 100% de la harina de pescado utilizando leguminosas como proteína primaria o secundaria, lo cual se ha logrado mezclando diferentes proteínas vegetales, fundamentalmente leguminosas y cereales o sus subproductos, a fin de balancear las deficiencias de aminoácidos y producir dietas nutricionalmente completas. Debido al alto costo de sus alimentos, la mayor parte de las investigaciones se han realizado para elaborar dietas para salmónidos, utilizando la soya como principal alternativa proteica, además del aporte de ácidos grasos si se usa la semilla sin desengrasar. Esta situación ha provocado que inclusive la soya se constituya un recurso escaso, cuyo precio fluctúa según la demanda y disponibilidad

del grano, de tal forma que aún la inclusión de soya afecta sensiblemente el precio de los alimentos, lo que indica la necesidad de identificar y caracterizar nutricionalmente otras leguminosas con atributos apropiados para utilizarse en dietas para peces.

Tal como se ha demostrado, las deficiencias de aminoácidos no son el motivo fundamental de el bajo desempeño de los peces alimentados a base de leguminosas, ya que la presencia de antinutrientes sería el factor principal para inhibir su uso intensivo, sin embargo los más comunes, como son los inhibidores de tripsina y α -amilasas, se inactivan con tratamientos térmicos sencillos. Su contenido de fitatos tiene implicaciones ecológicas además de su efecto sobre el crecimiento, ya que el fósforo no disponible por formar parte de los fitatos va a dar al fondo del estanque con las heces, donde es liberado por acción bacteriana y descargado al entorno donde favorece la eutrofización. El uso de fitazas como aditivos dietarios ha demostrado ser una alternativa viable para reducir este problema, fundamentalmente en dietas sin proteína animal, permitiendo a los peces asimilar una mayor proporción del fósforo dietético y reducir en más del 55% la liberación de este mineral a los estanques, abatiendo con ello el impacto negativo de las granjas hacia el entorno o, como en el caso de los bagres, disminuir la eutrofización de los estanques y con ello eliminar deficiencias de oxígeno y mal sabor del animal. El costo de incluir este aditivo se compensa con la mejora en el crecimiento y la producción de peces.

De acuerdo con lo aquí discutido, es factible sustituir hasta 73% de la proteína o 58% de la harina de pescado con semilla de soya entera, o si se usa harina desengrasada, hasta 67% de la proteína en dietas para trucha y el 100% en dietas para bagre y tilapia si la dieta se suplementa con fósforo para reducir las deficiencias por el mineral. Esta diferencia se relaciona fundamentalmente con los hábitos alimenticios de los peces y la baja capacidad de los salmónidos para digerir y utilizar carbohidratos complejos, lo cual si pueden hacer en mayor grado las otras especies. Esta diferencia implica una menor disponibilidad de energía digerible en las truchas, mientras que los otros peces pueden destinar una mayor proporción de la proteína para crecimiento al tener acceso a energía suplementaria en la soya. Esto indicaría además que se debe de enfatizar el uso de proteínas vegetales en tilapias y peces omnívoros, a fin de aprovechar su capacidad para asimilar estos materiales.

Dada la demanda por la soya, se ha hecho necesaria la identificación de proteínas alternativas inclusive para ese material, entre las cuales destaca la semilla de lupino, que está considerada entre las leguminosas como el sustituto natural para la soya. Con este material es posible reemplazar entre 30 y 50% de la proteína animal en dietas para trucha dependiendo de su tratamiento y si se suplementa con lisina y metionina. La ventaja del lupino sobre otras leguminosas es que ya se cultiva de manera intensiva en muchos países de Europa y en los Estados Unidos, de manera que ya se haya disponible en el mercado, lo cual no sucede con la mayoría de las leguminosas tropicales. De esta revisión se desprende que falta investigación para evaluar la utilización del lupino en dietas para tilapia.

Por el contrario, la mayor parte de los estudios realizados con leguminosas no convencionales se han hecho para alimentar a la tilapia, posiblemente debido a que en el medio tropical es donde más abundan las leguminosas silvestres y domesticadas, por lo que se tiene una mayor disponibilidad de materiales con potencial para usarse en dietas para peces. Los resultados en general son positivos, ya que salvo por las dificultades que presenta la inclusión de hojas de leucaena o semillas con altos niveles de aminoácidos libres tóxicos como serían la canavalia o la sesbania, las demás semillas presentan atributos nutricionales que les permiten sustituir al

menos 30% de la proteína animal. En este caso la recomendación sería identificar semillas con bajos niveles de antinutrientes y que además sean fácilmente removibles.

Hay además una gran diversidad de leguminosas subutilizadas en la alimentación humana que podrían usarse en la alimentación de peces, lo que implicaría la intensificación de su cultivo, como es el caso de los chícharos y algunos frijoles, particularmente la vigna, que por su valor nutricional deberá ser considerada por su calidad nutricional, sin embargo hacen falta más estudios para evaluar su eficiencia dietética en bagres y salmónidos.

Muchos de los problemas que se asocian con el uso de leguminosas se relacionan con la baja digestibilidad del material y un exceso de carbohidratos complejos de difícil digestión, principalmente por peces carnívoros, por lo que en este caso la recomendación se orientaría hacia el uso de concentrados proteicos, los cuales tienen la ventaja de carecer de fibra y carbohidratos indigeribles, además de que durante el proceso de extracción se elimina la mayor parte de los antinutrientes termolábiles e hidrosolubles, por lo que el material resulta de mejor calidad que la semilla entera. La desventaja es que los antinutrientes no eliminados se concentran también, además de que la tecnología actual no permite la producción de estos concentrados a costos competitivos con la harina de pescado.

En conclusión, se puede decir que los estudios demuestran que dependiendo de la especie y hábitos alimenticios, es factible sustituir la proteína animal con leguminosas en la alimentación de peces. Las proteínas vegetales poseen características nutricionales adecuadas para incluirse en la alimentación de peces, y sólo se requiere de tratamientos de baja tecnología o la suplementación con aminoácidos, fósforo o de enzimas, para mejorar el valor biológico del material. Es necesario realizar más estudios que permitan identificar leguminosas con propiedades nutricionales adecuadas, fundamentalmente en el medio tropical donde estos vegetales son más abundantes. La incorporación de leguminosas en las dietas acuícolas permitirá por otro lado reducir la presión sobre las pesquerías, al disminuir la demanda por la harina de pescado.

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.
- Aksnes, A. and Opstvedt, J.,** 1998. Content of digestible energy in fish feed ingredients determined by the ingredient-substitution method. *Aquaculture*, 161: 45-53.
- Alexis, M.N., Paparakeva-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.
- Alonso, J.L.** **Lupino:** una alternativa para la alimentación humana y animal [en línea]. <<http://www.geocities.com/SiliconValley/Way/4302/lupino.html>> [consulta: 19 de octubre de 1998].
- Anon.,** 1997. How will "worst El Niño for 150 years" hit feed?. *Fish Farmer International File*, 11(6): 25.
- Anon.,** 1998. El Niño likely to depress fish meal and fish oil production in South America. *Aquaculture Magazine*, 24(4): 7-8.
- Bjerkeng, B., Refstie, S., Fjalestad, K.T., Storebakken, T., Rødbotten, M. and Roem, A.J.,** 1997. Quality parameters of the flesh of Atlantic salmon (*Salmo salar*) as affected by dietary fat content and full-fat soybean meal as a partial substitute for fish meal in the diet. *Aquaculture*, 157: 297-309.
- 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.

- Brown, P.B., Twibell, R., Jonker, Y. and Wilson, K.A.**, 1997. Evaluation of three soybean products in diets fed to juvenile hybrid striped bass *Morone saxatilis* x *M. chrysops*. Journal of the World Aquaculture Society, 28(3): 215-223.
- Buentello, A.J., Gatlin III, D.M. and Dale, B.E.**, 1997. Evaluation of coastal Bermuda grass protein isolate as a substitute for fishmeal in practical diets for channel catfish *Ictalurus punctatus*. Journal of the World Aquaculture Society, 28(1): 52-61.
- Burel, C., Boujard, T., Corraze, G., Kaushik, S., Boeuf, G., Mol, K.A., Van der Geyten, S. and Kühn, E.**, 1998. Incorporation of high levels of extruded lupin in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): nutritional value and effect to thyroid status. Aquaculture, 163: 325-345.
- 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.
- Degani, G., Viola, S. and Yehuda, Y.**, 1997. Apparent digestibility coefficient of protein sources for carp, *Cyprinus carpio* L. Aquaculture Research, 28: 23-28.
- De Silva, S.S. and Gunasekera, R.M.**, 1989. Effect of dietary protein level and amount of plant ingredient (*Phaseolus aureus*) incorporated into the diets on consumption, growth performance and carcass composition in *Oreochromis niloticus* (L.) Fry. Aquaculture, 80: 121-133.
- Escaffre, A.M., Zambonino, J.L.I., Cahu, C.L., Mambrini, M., Bergot, P. and Kaushik, S.**, 1997. Nutritional value of soy protein concentrate for larvae of common carp (*Cyprinus carpio*) based on growth performance and digestive enzyme activities. Aquaculture, 153: 63-80.
- Eya, J.C. and Lovell, R.T.**, 1997. Net absorption of dietary phosphorus from various inorganic sources and effect of fungal phytase on net absorption of plant phosphorus by channel catfish *Ictalurus punctatus*. Journal of the World Aquaculture Society, 28(4): 386-391.
- 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.
- Göhl, B.**, 1991. Tropical feeds. FAO/Oxford Computer Journals LTD, Ver. 1.7.
- Gouveia, A. and Davies, S.J.**, 1998. Preliminary nutritional evaluation of pea seed meal (*Pisum sativum*) for juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). Aquaculture, 166: 311-320.
- Grant, G., Edwards, E.J. and Pusztai, A.**, 1995. "-amilase inhibitor levels in seeds generally available in Europe. Journal of Science Food and Agriculture, 67: 235-238.
- Hasan, M.R., Macintosh, D.J. and Jauncey, K.**, 1997. Evaluation of some plant ingredients as dietary protein sources for common carp (*Cyprinus carpio* L.) Fry. Aquaculture, 151: 55-70.
- Higuera, M. de la, 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.
- 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 full-fat soy in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 93: 57-62.
- IFOMA**, 1997. El Niño impact on South American fish meal and oil production. International Fishmeal and Oil Manufacturers Association [en línea]. <<http://www.ifoma.com/press16.html>> [consulta: 1° de marzo de 1998].
- 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, L.S., Li, M.H. and Robinson, E.H.**, 1996. Use of microbial phytase in channel catfish *Ictalurus punctatus* diets to improve utilization of phytate phosphorus. Journal of the World Aquaculture Society, 27(3): 309-313.
- 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.
- 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.
- Jansman, M.J.A.**, 1993. Tannins in feedstuffs for simple stomached animals. Nutrition Research Reviews, 6: 209-236.
- Jauncey, K. and Ross, B.**, 1982. A guide to tilapia feeds and feeding. University of Stirling, Scotland, 111 pp.

- Keembiyehetty, C.N. and De Silva, S.S.**, 1993. Performance of juvenile *Oreochromis niloticus* (L.) reared on diets containing cowpea, *Vigna catianga*, and black gram, *Phaseolus mungo*, seeds. *Aquaculture*, 112: 207-215.
- Kingman, M.S.**, 1991. The influence of legume seeds on human plasma lipid concentrations. *Nutrition Research Reviews*. pp. 97-117
- Law, A.T.**, 1986. Digestibility of low cost ingredients in pelleted feed by grass carp (*Ctenopharyngodon idella* C. et V.). *Aquaculture*, 51: 97-103.
- 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. 157-17.
- Lim, C., Klesius, P.H. and Higgs, D.A.**, 1998. Substitution of canola meal for soybean meal in diets for channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 29(2): 161-168.
- 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.
- McCoy, H.D.**, 1990. Fishmeal — the critical ingredient in aquaculture feeds. *Aquaculture Magazine*, 16(2): 43-50.
- McDowell, L.R., Conrad, J.H., Thomas, J.E. and Harris, L.E.**, 1974. Latin American tables of feed composition. University of Florida, Gainesville, USA, 509 pp.
- 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.
- Montilla, J.J.**, 1994. Importancia agronómica y nutricional de las leguminosas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 44: 44-47.
- Moyano, F.J., Cardenete, G. y De la Higuera, M.**, 1992. Nutritive value of diets containing a high percentage of vegetable proteins for trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquatic Living Resources*, 5: 23-29.
- Murai, T., Daozun, W. and Ogata, H.**, 1989. Supplementation of methionine to soy flour diets for fingerling carp, *Cyprinus carpio*. *Aquaculture*, 77: 373-385.
- NAS**, 1979. Tropical legumes: Resources for the future. National Academy of Sciences, Washington, D.C., 332 pp.
- Nengas, I., Alexis, M.N. and Davies, S.J.**, 1996. Partial substitution of fishmeal with soybean meal products and derivatives in diets for the gilthead sea bream *Sparus aurata* (L.). *Aquaculture Research*, 27: 147-156.
- Nengas, I., Alexis, M.N., Davies, S.J. and Petichakis, G.**, 1995. Investigation to determine digestibility coefficients of various raw materials in the diets for gilthead sea bream, *Sparus auratus* L. *Aquaculture Research*, 26: 185-194.
- 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.
- NRC**, 1977. Nutrient requirements of warmwater fishes. National Research Council, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 57 pp.
- NRC**, 1993. Nutrient requirements of fish. National Research Council, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 114 pp.
- Olli, J.J. and Krogdahl, 1995.** Dehulled solvent-extracted soybean meal as a protein source in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture Research*, 26: 167-174.
- Olvera, N.M.A., Campos, G.S., Sabido, G.M. and Martínez, P.C.A.**, 1990. The use of alfalfa leaf protein as a protein source in diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Aquaculture*, 90: 291-302.
- Olvera, N.M.A., Martínez, 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.
- Olvera, N.M.A., Pereira, P.F., Olivera, C.L., Pérez, F.V., Navarro, L. and Sámano, J.C.**, 1997. Cowpea (*Vigna unguiculata*) protein concentrate as replacement for fish meal in diets for tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry. *Aquaculture*, 158: 107-116.

- Pfeffer, E., Kizinger, S. and Rodehutschord, M.**, 1995. Influence of the proportion of poultry slaughter by-products and of untreated or hydrothermally treated legume seeds in diets for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), on apparent digestibilities of their energy and organic compounds. *Aquaculture Nutrition*, 1: 111-117.
- Pickford, W.**, 1996. Antinutrient levels in third world refugee and weaning rations: Lectin, phytate, trypsin inhibitor, chymotrypsin inhibitor and alpha amylase inhibitor contents in rations. Thesis. Dept. of Medicine and therapeutics Foresterhill. University of Aberdeen, Aberdeen Scotland, 73 pp.
- Pusztai, A., Grant, G., Duguid, T., Brown, S.D., Peumans, J.W., Van Damme, M.J.E. and Bardocz, S.**, 1995. Inhibition of starch digestion by alpha-amylase inhibitor reduces the efficiency of utilization of dietary proteins and lipids retards the growth of rats. *Journal of Nutrition*, 125: 1554-1562.
- Refstie, S., Helland, S.J. and Storebakken, T.**, 1997. Adaptation to soybean meal in diets for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 153: 263-272.
- Refstie, S., Storebakken, T. and Roem, A.J.**, 1998. Feed consumption and feed conversion in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with fish meal, extracted soybean meal or soybean with reduced content of oligosaccharides, trypsin inhibitors, lectins and soya antigens. *Aquaculture*, 162: 301-312.
- Reigh, R.C. and Ellis, S.C.**, 1992. Effects of dietary soybean and fish-protein ratios on growth and body composition of red drum (*Scaenops ocellatus*) fed isonitrogenous diets. *Aquaculture*, 104: 279-292.
- Reinitz, G.L.**, 1983. Relative effect of age, diet, and feeding rate on the body composition of young rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture*, 35: 19-27.
- 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.
- Robinson, E.H., and Li, M.H.**, 1994. Use of plant proteins in catfish feeds: replacement of soybean meal with cottonseed meal and replacement of fish meal with soybean meal and cottonseed meal. *Journal of the World Aquaculture Society*, 25(2): 272-276.
- Robinson, E.H., and Li, M.H.**, 1998. Comparison of practical diets with and without animal protein at various concentrations of dietary protein on performance of channel catfish *Ictalurus punctatus* reared in earthen ponds. *Journal of the World Aquaculture Society*, 29(3): 273-280.
- 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., Miller, J.K. and Vergara, V.M.**, 1985. Evaluation of dry extrusion-cooked protein mixes as replacements for soybean meal and fish meal in catfish diets. *The Progressive Fish-Culturist*, 47(2): 102-109.
- Rockland B.L. and Radke M.T.**, 1981. Legume protein quality. *Food Technology*. pp 79-82
- Rodehutschord, M. and Pfeffer, E.**, 1995. Effects of supplemental microbial phytase on phosphorus digestibility and utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Water Science and Technology*, 30(10): 143-147.
- Rumsey, G.L., Hughes, S.G. and Winfree, R.A.**, 1993. Chemical and nutritional evaluation of soya protein preparations as primary nitrogen sources for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 40: 135-152.
- 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., Laron, M.A. and Reyes, O.s.**, 1988. Reproductive performance and growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) broodstock fed diets containing *Leucaena leucocephala* leaf meal. *Aquaculture*, 70: 53-61.
- Schäfer, A., Koppe, W.M., Meyer-Burgdorff, K.-H. and Günther, K.d.**, 1995. Effects of a microbial phytase on the utilization of native phosphorus by carp in a diet based on soybean meal. *Water Science and Technology*, 31(10): 149-155.
- 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.
- 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.**, 1987. Aquafeeds and feeding strategies. Review of the state of world aquaculture. FAO Fisheries Circular 886 rev. 1. 163 pp.
- 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
- Todorov, N.A.**, 1988. Cereals, pulses and oilseeds. *Livestock Production Science*, 19: 47-95.
- Twibell, R.G. and Brown, P.B.**, 1998. Optimal dietary protein concentration for hybrid tilapia *Oreochromis niloticus* x *O. aureus* fed all-plant diets. *Journal of the World Aquaculture Society*, 29(1): 9-16.
- 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.
- Vielma, J., Lall, S.P., Koskela, J., Schöner, F.-J. and Mattila, P.**, 1998. Effects of dietary phytase and cholecalciferol on phosphorus bioavailability in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 163: 309-323.
- 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.**, 1988a. Animal-protein-free feeds for hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) in intensive culture. *Aquaculture*, 75: 115-125.
- Viola, S., Arieli, Y. and Zohar, G.**, 1988b. Unusual feedstuffs (tapioca and lupin) as ingredients for carp and tilapia feeds in intensive culture. *Bamidgeh*, 40(1): 29-34.
- Viola, S., Mokady, S. and Arieli, Y.**, 1983. Effects of soybean processing methods on the growth of carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, 32: 27-38.
- 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.
- Webster, C.D., Goodgame-Tiu, L.S. and Tidwell, J.H.**, 1995. Total replacement of fish meal by soy bean meal, with various percentages of supplemental L-methionine, in diets for blue catfish, *Ictalurus furcatus* (Lesueur). *Aquaculture Research*, 26: 299-306.
- Webster, C.D., Yancey, D.H. and Tidwell, J.H.**, 1992b. 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.**, 1992a. 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 Shu, S.-W.**, 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): 55-60.3.
- Yusif, O.M., Alhadhrami, G.A. and Pessarakli, M.**, 1994. Evaluation of dehydrated alfalfa and salt bush (*Atriplex*) leaves and diets for tilapia (*Oreochromis aureus* L.). *Aquaculture*, 126: 341-347.