

El Uso de la harina de soja en la dieta de peces omnívoros de agua dulce

Por Delbert M. Gatlin III, Dirección de Ciencias de Pesquerías y de Vida Salvaje y Facultad de Nutrición, Texas A&M University System. APROX. 2009

Abstract

En el universo de la producción acuícola prevalecen las especies de peces omnívoros de agua dulce, incluyendo especies tales como carpas y bagres. La harina de soja es un ingrediente que predomina en las dietas preparadas para estas especies, muchas veces constituyendo el 50 o 60 % del total de la fórmula. Tales niveles de incorporación son posibles debido a la adecuada palatabilidad de la harina de soja y su excelente valor nutricional para estas especies, incluyendo altos niveles de proteína bruta, un perfil aminoácido complementario y una digestibilidad de nutrientes relativamente alta. Para diversas especies omnívoras de aguas dulces que se cultivan en todo el mundo, la harina de soja ha reemplazado ampliamente en las fórmulas dietarias a ingredientes de proteínas más costosos, tales como la harina de pescado, sin modificar la óptima producción de peces. En consecuencia, el costo del cultivo de peces ha disminuido sustancialmente. A medida que la producción acuícola continúa expandiéndose en todo el mundo para suplir la creciente demanda de productos derivados del mar, el uso de los productos de soja va jugando un rol más importante proveyendo una proteína de alta calidad para diversas especies de peces.

Introducción

Los alimentos derivados de la soja han sido utilizados durante muchos años en las fórmulas de las dietas utilizadas para la producción acuícola de numerosas especies de peces. Diversas especies de peces de aguas dulces que presentan un comportamiento de alimentación omnívora, históricamente han sido alimentadas con dietas preparadas a base de niveles relativamente altos de harina de soja (hasta un 60% por peso). Este grupo de peces constituye el sector más extenso de la producción acuícola del mundo por tonelada (Anónimo, 2002) y es el principal consumidor de productos a base de soja.

Especies de Peces

Entre los miembros de este grupo de especies omnívoras de agua dulce, se destacan diversos ciprínidos, tales como la carpa común (*Cyprinus carpio*), que posee la histórica distinción de haber sido la primera especie cultivada durante el siglo V A.C. en China (Stickney, 2000a). La producción acuícola de esta especie ha sido establecida en diversos países de Asia, Europa, África y Latinoamérica durante muchos años y constituye el sector más extenso del mundo de la acuicultura en términos de cantidad producida (Anónimo, 2002). Otras especies de carpas chinas, tales como la carpa plateada (*Hypophthalmichthys molitrix*), carpa herbívora amur (*Ctenopharyngodon idella*), carpa cabezona (*Aristichthys nobilis*), goldfish (*Carassius auratus gibelio*) y mud carp (*Cirrhinus mulitorella*), son producidas principalmente en China, aunque una producción más limitada se lleva a cabo en otras partes de Asia y Europa (Stickney, 2000a).

Las carpas indias, tales como la rohu (*Labeo rohita*), mrigal (*Cirrhinus mrigala*) y catla (*Catla catla*), son otro grupo de especies de carpas nativas del subcontinente indio y producidas predominantemente allí. Estos peces son cultivados principalmente en estanques fertilizados con el uso de alimentos suplementarios (Stickney, 2000a).

Los bagres de los géneros *Ictalurus* y *Clarius* también son predominantes entre las especies omnívoras de agua dulce que se cultivan en diversos lugares del mundo. El “catfish” o bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) constituye la empresa acuícola más grande de América del Norte, y también se produce en América Latina y Asia (Tucker, 2000). El bagre del género *Clarius*, también conocido como “el bagre caminador”, está distribuido a lo largo del Sudeste de Asia, África y el Cercano Oriente, y son cultivadas en algunos países europeos (Stickney, 2000b). Las predominantes especies cultivadas en Asia incluyen al *Clarius batrachus* and *C. macrocephalus*; en tanto que el pez gato (*Clarius gariepinus*) ha sido cultivado en África y Europa. Estas especies han sido cultivadas en diversos niveles de intensidad en estanques de tierra y con sistemas de recirculación de agua. El nivel de intensidad dicta ampliamente el régimen nutricional utilizado, que abarca desde fertilización orgánica hasta dietas preparadas nutricionalmente completas.

Otro grupo de especies omnívoras de aguas cálidas cultivadas a lo largo del mundo y que comprenden una gran porción de la producción mundial es el de las especies de tilapia (*Oreochromis* y *Tilapia* sp.) (Stickney, 2000c). Estos peces son nativos de África y del Medio Oriente, pero han sido cultivados en regiones templadas y tropicales en todo el mundo. Se los produce en varios niveles de intensidad en un amplio rango de sistemas de cultivo, y los regímenes nutricionales se ajustan de acuerdo a ello.

Existen otras diversas especies omnívoras de agua dulce cuya producción está actualmente limitada a regiones específicas del mundo. Un ejemplo es el silver perch (*Bidyanus bidyanus*), un pez nativo de Australia que ha demostrado excelentes características para la producción acuícola en los estanques de Oriente.

Productos Derivados de la Soja

Numerosos y variados productos derivados de la soja han sido evaluados utilizando varias especies de peces. Todos estos productos contienen aceptablemente altos niveles de proteína bruta, que van del 38 al 49 % por peso. A los productos de soja se los reconoce por tener la composición más equilibrada de aminoácidos de todos los alimentos de origen vegetal, y las cantidades de aminoácidos indispensables presentes en estos productos son muy similares a lo que expresa como porcentaje la proteína bruta (Lim y Akiyama, 1992). El azufre contenido en los aminoácidos metionina y cistina se considera que generalmente es menor en los productos de la soja comparado con los requerimientos cuantitativos de aminoácidos para la mayoría de las especies de peces (NRC, 1993).

Los productos derivados de la soja más utilizados en las dietas para acuicultura son las harinas resultantes de la remoción del aceite de la soja. La extracción con solvente del aceite resulta en productos que generalmente contienen 44% de proteína bruta si se incluyen las cáscaras o 48% de proteína bruta en el caso de soja descascarada (NRC, 1993).

La extracción del aceite de la soja a través del proceso de expeller resulta en una harina que contiene aproximadamente un 42% de proteína (Li et al., 2000a). La composición de aminoácidos presente en estas harinas de soja es similar cuando se la expresa en porcentaje de proteína, y representa el perfil más equilibrado de todas las proteínas de origen vegetal. La harina de soja descascarada tiene un contenido reducido en fibras (aproximadamente 3.4%) comparado con la harina que contiene cáscara

(aproximadamente 6.2%). Ambas harinas tienen un contenido de lípidos de alrededor del 1% debido al eficiente proceso de extracción con solvente. Estas dos harinas han sido utilizadas más frecuentemente en alimentos acuícolas y en consecuencia recibirán la mayor consideración en este trabajo.

Otro producto de soja comúnmente referido como harina de soja con grasa es producido a través de un tratamiento de calor en la soja entera. Este producto tiene un contenido de proteína bruta de aproximadamente el 38% (como base de alimentación) y un nivel lípido de aproximadamente el 18%, proporcionando altos niveles de ácidos linoleico y linolénico (Lim y Akiyama, 1992). La harina de soja con grasa ha sido evaluada e incorporada en la dieta de especies omnívoras de aguas templadas hasta un límite inferior que con las especies carnívoras de aguas frías, principalmente debido a los niveles de lípidos más restrictivos que típicamente se incluyen en las dietas de las primeras especies. En la harina de soja con grasa se requiere un tratamiento de calor adecuado para desactivar los factores termolábiles anti-nutricionales que se sabe que están presentes en la soja cruda. Se han utilizado numerosos métodos diferentes de tratamiento por calor, inclusive el hervor y la extrusión seca de soja entera.

El valor nutricional de la harina de soja con grasa tratada con calor correctamente, puede diferir en diversas especies de aguas templadas, basándonos en el limitado número de estudios publicados. En las carpas espejo (*Cyprinus carpio*) se informó que el valor de la harina de soja con grasa es equivalente al de la harina de soja comercial o a la proteína de soja concentrada reconstituida con aceite de soja (Viola et al., 1983). En contraste con este dato, Abel et al. (1984) informó que una dieta que contiene 50% de harina de soja con grasa tratada con calor, en lugar de la mitad de harina de pescado en una dieta de control sostuvo el crecimiento de la carpa espejo entre el 60 y el 65% de la dieta de control. Esto fue atribuido a un menor equilibrio de aminoácidos en la dieta de prueba, y la suplementación de lisina, metionina y treonina en la dieta de harina de soja con grasa, lo que reforzó la respuesta de crecimiento de la carpa espejo.

La tilapia híbrida (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) que fue alimentada con una dieta en la cual el 30% de la harina de pescado fue reemplazada en la dieta de control por harina de soja con grasa, obtuvo una ganancia de peso, una eficiencia alimentaria, un índice de eficiencia proteica y una digestibilidad de proteína similares a las del pez alimentado con la dieta de control (Shiau et al., 1990.). En otro estudio, la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) que fue alimentada con harina de soja con grasa hervida en un 58,3% de su dieta obtuvo una ganancia de peso, una eficiencia alimentaria, una aparente digestibilidad y una aparente utilización de la proteína neta que son similares a lo ocurrido con el pez alimentado con la dieta con un 52,4% de harina de soja extraída con solvente (Wee y Shu, 1989).

También se informó que el bagre de canal consumió harina de soja con grasa y harina de soja comercial (Saad, 1979). En esta prueba en estanque, el bagre que fue alimentado con dietas que contenían el 37,2 y el 77% de harina de soja con grasa (en lugar del 50 y 100% de la harina de soja comercial en la dieta de control) obtuvo similar ganancia de peso y de proteína, pero mayor deposición de lípidos en comparación con peces alimentados con la dieta de control.

En otra especie de bagre, *Clarius gariepinus*, también se observaron similares ganancia de peso y eficiencia alimentaria cuando la harina de soja sin grasa reemplazó en un 44,6% a la harina de maní en la dieta de control (Baloguna y Ologhobo, 1989).

Otro producto de soja que ha sido utilizado con moderación en la dieta de la mayoría de las especies es la proteína de soja concentrada. Este producto parece ser un alimento proteico altamente nutritivo basándonos en las limitadas evaluaciones llevadas a cabo al día de la fecha, pero su costo generalmente hace que sea prohibitivo usarlo en la mayoría de las fórmulas de las dietas para peces. Posibles

excepciones serían su inclusión en dietas designadas por un tiempo restringido para fases tempranas de vida tales como las larvas de algunas especies (Escaffre et al., 1997).

Digestibilidad

La digestibilidad o disponibilidad de fracciones de diversos nutrientes en los productos de la soja han sido evaluadas en un número de especies de peces omnívoros. En general, los coeficientes de digestibilidad obtenidos en varios componentes de los productos de soja han sido bastante altos, lo que indica que un gran porcentaje de esos componentes pueden ser digeridos y absorbidos por los peces para su consiguiente metabolismo (Tabla 1).

TABLA 1: Coeficientes de Digestibilidad de Diversos Productos de Soja para Especies de Peces Seleccionados Omnívoros de Agua Dulce

Producto	Número Alimentario Internacional	Especies de peces	Coeficiente de Digestibilidad (%)				
			Materia seca	Proteína	Lípido	Carbohidrato	Energía
Harina de soja, extraído con solvente con cáscaras	5-04-604	Bagre de canal		77	81		
		Tilapia azul		94		54	
		Tilapia del Nilo		91			57
		Tilapia híbrida		95	90		81
		Carpa común		92,70,95	74	62	75,80
Harina de soja, extraído con solvente descascarado	5-04-612	Bagre de canal	75	85,93-97			73
		Silver perch		95			78
Harina de soja, sin cáscaras, con grasa	5-04-597	Silver perch	77	92			80
Soja, entera expeller		Silver perch	84	96			84

Se ha informado que la digestibilidad de la fracción de la proteína de los productos de soja es mayor al 90% para especies tales como la carpa común, el bagre de canal, la tilapia y el silver perch, con valores del 95% o superiores para ciertas especies. A los coeficientes de digestibilidad de la proteína se los puede comparar favorablemente respecto de los de cualquier otro producto proteico de alta calidad tales como diversas harinas de pescado (NRC, 1993). La disponibilidad de aminoácidos individuales en la fracción de proteína de los productos de la soja ha sido determinada sólo para algunas especies tales como la carpa tabl, el bagre de canal y el silver perch (Tabla 2). Sin embargo, teniendo en cuenta los datos obtenidos de esas especies, la aparente disponibilidad de todos los aminoácidos indispensables y dispensables es bastante elevada con los valores más bajos promediando el 81% para el bagre de canal y los valores más elevados promediando entre el 91 y el 95% para la carpa común y el silver perch, respectivamente. En consecuencia, teniendo en cuenta los coeficientes de alta digestibilidad de proteínas de los productos de soja para otras especies omnívoras, se espera una alta disponibilidad de aminoácidos en esas especies. No obstante, los datos de disponibilidad de aminoácidos deberían obtenerse para especies individuales de manera que las

dietas para esas especies puedan formularse con mayor precisión sobre una base disponible de aminoácidos.

La digestibilidad de lípidos en la harina de soja también es bastante elevada, con valores que van del 74 al 90% en el caso del bagre de canal y de la carpa común, respectivamente (Tabla 1). La digestibilidad de carbohidratos en productos de soja no ha sido determinada, pero presumiblemente sería menor que la de los otros grupos de nutrientes debido a la presencia de polisacáridos sin almidón y de fibra indigerible. Para la tilapia azul (*Oreochromis aureus*) se informó un coeficiente de digestibilidad de carbohidratos del 54 %. La limitada digestibilidad de esta fracción es responsable principalmente de reducir los coeficientes de digestibilidad generales de materia seca que han sido informados que alcanzan entre 74 y el 90% (Tabla 1).

La digestibilidad de energía de diversos productos de soja es elevada, con valores que alcanzan entre el 57 y 84% (Tabla 1). Basándose en esos valores, el contenido de energía digerible en la soja extraída por solvente generalmente ronda las 3 000kcal/kg (12 500kJ/kg). La energía digerible en la harina de soja con grasa es más elevada para la mayoría de las especies debido a su mayor contenido lípido.

TABLA 2: Aparentes Valores (%) de Disponibilidad de Aminoácidos presentes en Productos de la soja para la Carpa común, el Bagre Channel, y el Silver Perch.

Producto	Número Alimentario Internacional	Especies de peces	Arg	Cis	His	Ile	Leu	Lis	Met	Fen	Tre	Tri	Val
Harina de soja, extraído con solvente con cáscaras	5-04-604	Carpa común	95,8	88,0	92,0	90,3	92,2	92,6	91,2	93,3	87,1	92,1	89,8
Harina de soja, extraído con solvente descascarado	5-04-612	Bagre channel	95,4		83,6	77,6	81,0	90,9	80,4	81,3	77,5	78,7	75,5
		Silver perch	97,8	94,1	96,7	94,9	94,8	96,7	95,7	95,6	95,5	96,2	94,8
Harina de soja, sin cáscaras, con grasa	5-04-597	Silver perch	95,4	96,5	94,2	92,0	92,2	94,5	95,7	93,1	94,0	93,6	91,2
Soja, entera expeller		Silver perch	97,6	94,0	96,8	96,9	96,4	96,9	98,1	97,3	95,5	96,4	96,5

Sustitutos de Ingredientes.

La harina de soja, con su alto contenido proteico y de mezcla de aminoácidos, tradicionalmente ha sido evaluada en comparación con la harina de pescado, que generalmente es considerada como el ingrediente más proteico y nutritivo para los animales acuáticos. Debido a los altos costos de la harina de pescado y la preocupación respecto de su limitada disponibilidad al tiempo que la acuicultura continúa expandiéndose, resulta una prioridad evaluar sustitutos apropiados para la harina de pescado (Hardy, 1999). La mayor parte de esta investigación extensiva ha sido llevada a cabo en algunas especies omnívoras de agua dulce que están bien firmes en la acuicultura. Estas especies suelen aceptar dietas que contengan ingredientes vegetales y generalmente son menos dependientes de la harina de pescado y otros ingredientes que contengan proteínas de origen animal comparadas con las especies carnívoras. En consecuencia, la

habilidad para sustituir la harina de soja por la harina de pescado en las fórmulas de las dietas para estas especies es sustancial, tal como lo resumen los siguientes estudios.

Los primeros estudios realizados con la carpa común indicaron que una reducción de harina de pescado del 15 al 5% en dietas de bajo valor proteico (25%) incrementando la harina de soja del 15 al 35%, causaron una reducción en el crecimiento que no pudo alterarse mediante la suplementación de metionina o lípidos adicionales (Viola, 1975). Sin embargo, los siguientes experimentos (Viola et al., 1981, 1981/1982) demostraron que una sustitución completa de la harina de pescado (25% de la dieta) por harina de soja (45% de la dieta) podría lograrse al suplementar la dieta basada en harina de soja con lípidos (hasta un 10%), metionina (0.4%) y lisina (0.4-0.5%).

Se han obtenido resultados similares en otro estudio en el que se evaluaron dietas de alto valor proteico (37%) en carpas comunes (Pongmaneerat et al., 1993b). En ese estudio, una dieta de control que contiene un 45% de harina de pescado marrón fue comparada con dietas en las que la harina de pescado fue reemplazada progresivamente con combinaciones de harina de soja, harina de gluten de maíz y/o harina de carne. Al reducir la harina de pescado del 45%, como en la dieta de control, al 22% junto con 25% de harina de soja y 10% de harina de gluten de maíz se obtuvieron los siguientes resultados: similar ganancia de peso, eficiencia alimentaria y coeficiente de eficiencia proteica en la carpa común. Un posterior reemplazo de la harina de pescado por otras combinaciones de ingredientes perjudicaron los resultados aunque al suplementar con lisina, metionina y treonina en una dieta que contenga 5% de harina de carne, 15% de harina de gluten de maíz y 40% de harina de soja y nada de harina de pescado, mejoró la ganancia de peso y la eficiencia alimentaria en un 90% en peces alimentados con una dieta de control.

Se obtuvieron resultados similares en un segundo experimento en el que se agregó una mezcla de metionina y aminoácidos a dietas que contenían 5% de harina de carne, 14% de harina de gluten de maíz y 38% de harina de soja. Esta suplementación condujo a una buena ganancia de peso, eficiencia alimentaria y respuestas en el coeficiente de eficiencia proteica de aproximadamente el 90% de lo alcanzado por la carpa común en una dieta de control compuesta por 45% de harina de pescado marrón (Pongmaneerat et al., 1993b).

Al combinar la harina de soja con otros ingredientes ricos en aminoácidos, tales como la harina del crustáceo *squilla* (*Oratosquilla nepa*), también se ha obtenido un rápido crecimiento de la carpa común (Nandeesh et al., 1989).

Muchos estudios llevados a cabo con el bagre de canal en acuarios han demostrado que un reemplazo completo de la harina de pescado menhaden (anchoa/caballa?) por la harina de soja en fórmulas dietarias llevan a una reducción en el crecimiento (Andrews y Page, 1974; Mohsen y Lovell, 1990), y la suplementación con lisina, metionina y cistina no proporcionaron ninguna mejora (Andrews y Page, 1974). Sin embargo, un estudio de laboratorio mostró que una dieta que contiene hasta un 50% de harina de soja en combinación con granos destilados permitió reemplazar por completo la harina de pescado sin causar menor crecimiento en el bagre de canal. (Webster et al., 1992a).

Numerosos subsiguientes experimentos, en los que el bagre de canal fue llevado a tamaño comercial en estanques en tierra, demostraron que el reemplazo completo de la harina de pescado por la harina de soja u otros ingredientes tales como la harina de la semilla de algodón o la harina de carne o de hueso no han presentado ningún problema en crecimiento ni en eficiencia alimentaria (Robinson y Li, 1993, 1994, 1998; Reigh, 1999).

Muchos otros experimentos realizados en el bagre de canal en estanques han mostrado que las dietas que contienen entre el 28 y el 32% de proteína bruta proveniente de la harina de soja proporcionan un crecimiento equivalente al de las dietas que contienen alguna proteína animal, como la harina de pescado o las harinas de carne y de hueso (Robinson y Li, 1999, Robinson et al., 2000; Li et al., 2000b). Estas dietas generalmente no requieren suplemento de ningún aminoácido cristalino. Sin embargo, el bagre de canal ha respondido a la suplementación de aminoácidos en algunas dietas prácticas, pero los aminoácidos y proteínas plasmáticas son usados más eficientemente que los aminoácidos cristalinos. (Zarate y Lovell, 1997).

El bagre de canal (*Ictalurus furcatus*) ha respondido eficientemente a dietas que contienen altos porcentajes de harina de soja, aunque una primera investigación ha indicado que el reemplazo completo de la harina de pescado por la harina de soja causó una reducción en el crecimiento de juveniles (Webster et al., 1992b). En siguientes estudios de laboratorio con juveniles, el reemplazo completo de harina de pescado menhaden (15% de la dieta) fue realizado sin afectar la ganancia de peso o la eficiencia alimentaria, al incrementar la harina de soja del 42 al 65% de la dieta (Webster et al., 1995a, 1995b). En esos estudios, el suplemento de metionina en dietas sin harina de pescado no confirió mejoras adicionales en la respuesta de los peces. El bagre blue muestra tener un menor requerimiento proteico en su dieta que el bagre de canal (Webster et al., 2000).

El pez gato (*Clarius gariepinus*) también ha respondido favorablemente a dietas que contienen harina de soja. Van Weerd et al. (1999) realizó un experimento de laboratorio en que el pez gato fue alimentado con dietas que contenían entre el 47 y el 48% de proteína bruta, con diferentes cantidades de harina de pescado y harina de soja. La ganancia de peso y la eficiencia alimentaria de los peces alimentados con dietas que contenían 41% de harina de soja y 29% de harina de pescado fueron similares a las de los peces alimentados con una dieta de control que contenía 18% de harina de soja y 58% de harina de pescado. No obstante, las dietas que contenían 69% de harina de soja y 6% de harina de pescado resultaron en una menor ganancia de peso y de eficacia alimentaria.

La tilapia, en mayor parte, ha mostrado responder favorablemente al reemplazo dietario de la harina de pescado por la harina de soja. Davis y Stickney (1978) realizaron un experimento factorial 4x4 en acuarios con tilapia azul para evaluar cuatro combinaciones diferentes de harina de soja y harina de pescado (cada uno constituyendo el 0, 33, 67 o 100% de la proteína dietaria) en cada uno de los cuatro niveles de proteína dietaria (15, 22, 29 y 36%). Las dietas que contenían todas las combinaciones de proteínas, excepto la dieta del 36% de proteínas con 100% de harina de pescado, fueron suplementadas con DL-metionina. Los peces alimentados con la dieta del 36% de proteínas experimentaron la mayor ganancia de peso y eficiencia alimentaria. Estas respuestas no fueron influenciadas de modo significativo por la combinación de harina de pescado y harina de soja. Sin embargo, en los casos en los que se presentaron bajos niveles de proteínas, se ha observado una mejora general en el crecimiento y en la eficiencia alimentaria con una mayor cantidad de harina de pescado presente en la dieta.

En otro estudio, Shiau et al. (1987) alimentó tilapia híbrida con dietas de control formuladas con un 24 y 32% de proteína bruta proveniente exclusivamente de la harina de pescado. Las dietas experimentales para cada nivel de proteína contenían harina de soja ya sea con o sin suplemento de metionina (0.2 a 0.26%) para reemplazar el 30% de la proteína de la harina de pescado. Los peces alimentados con las tres dietas que contenían 24% de proteína bruta no mostraron diferencias en la ganancia de peso, la eficiencia alimentaria o eficiencia proteica. En contraste, los peces alimentados con una dieta del 32% de proteínas, con todas las proteínas de la harina de pescado, obtuvieron mayor ganancia de peso, eficiencia alimentaria

y eficiencia proteica que los peces alimentados con la dieta del 30% de proteínas provenientes de la harina de soja.

En otras pruebas de alimentación de tilapia híbrida, Viola et al. (1988) evaluó dietas con el 30% de proteínas brutas que contenían un 55 al 60% de harina de soja y ningún ingrediente animal, junto con diversos suplementos tales como aceite, metionina, lisina y fósforo. Viola et al. concluyeron en que sólo fue necesario adquirir el suplemento de fósforo en la dieta basada en harina de soja para alcanzar las respuestas de ganancia de peso y de eficiencia alimentaria similares a las de los peces alimentados con una dieta de control que contenía 35% de harina de pescado.

En dos estudios separados (Wu et al., 1995; Tudor et al., 1996), la tilapia del Nilo alimentada con dietas que contenían entre 35 y 56% de harina de soja y de alimento de gluten de maíz, pero nada de harina de pescado, alcanzaron la misma ganancia de peso y la misma eficiencia alimentaria que los peces alimentados con dietas que contenían hasta un 6% de harina de pescado. En un estudio más reciente (El-Saidy y Gaber, 2002), la tilapia del Nilo alimentada con una dieta que contenía un 55% de harina de soja suplementada con 1% de metionina y 0,5% de lisina adquirió una significativa mayor ganancia de peso y eficiencia alimentaria que los peces alimentados con la dieta de control que contenía 20% de harina de pescado menhaden y 30% de harina de soja. Desafortunadamente, la necesidad de suplemento individual de aminoácidos en la dieta basada en harina de soja no pudo ser evaluada porque esas dietas fueron suplementadas tanto con metionina como con lisina. La digestibilidad de la proteína de la dieta que contenía el 55% de harina de soja fue similar a la de la dieta con 20% de harina de pescado y 30% de harina de soja.

El tambaqui (*Colossoma macropomum*), un pez nativo de la región del Amazonas que crece rápidamente, se ha alimentado eficientemente con una dieta que contiene 59% de harina de soja, aunque el crecimiento y la toma de alimento se redujo en comparación con los peces alimentados con una dieta que contiene el 32,8% de harina de pescado como principal ingrediente que aporta proteína (van de Meer et al., 1997).

Evaluaciones de las Dietas.

Tal como se lo ha observado en la sección anterior, diversos estudios han sido realizados para comparar el valor nutricional de la harina de soja respecto de la harina de pescado y alimentos proteicos de origen animal. Además de esos estudios, muchas otras pruebas han sido realizadas en China por la Asociación Americana de Soja (ASA) para evaluar fórmulas específicas para diferentes especies omnívoras de peces. Estas pruebas de producción han evaluado fórmulas dietarias en una variedad de especies de pescado bajo la tecnología ASA's 80:20 en la que especies de alto valor de un determinado tamaño son alimentadas con una dieta preparada y abarcan aproximadamente el 80% de los peces mientras que una o más especies "de servicio" constituyen el otro 20% de la producción. La carpa plateada ha sido más utilizada como especie "de servicio" debido a su eficiencia para incrementar la productividad natural al alimentar con dietas preparadas a las especies de alto valor.

Durante 1995 y 1996, se han realizado 14 diferentes pruebas de alimentación utilizando la tecnología 80:20 con carpín (*Carassius auratus gibelio*), pacú (*Piaractus brachyomum*), tilapia del Nilo y carpa Wuchang o carpa (*Megalobram amblycephala*) (Asociación Americana de Soja, 1996a). En siete diferentes pruebas con el carpín, una dieta basada en proteínas vegetales (designada J) que contenía el 50% de harina de soja, el 5% de harina de semilla de algodón, 5% de harina de colza y 10% de gluten de maíz produjo un

crecimiento mejor o igual que el de la dieta que contenía 5% de harina de pescado, 40% de harina de soja, y similares cantidades de los otros ingredientes (designada dieta H). Esas dietas y otra que contenía 5% de harina de pescado y 40% de harina de soja (designada dieta K) también fueron evaluadas en el pacú en dos diferentes ensayos. El pacú creció rápido en los ensayos y no hubo diferencias significativas en el índice de crecimiento entre los peces alimentados con las dos dietas que contenían harina de pescado respecto de la que no contenía harina de pescado.

En otra producción de prueba con la tilapia del Nilo, la dieta K que contenía harina de pescado proporcionó entre el 13 y el 17% de mejora en el crecimiento y en la eficiencia alimentaria comparado con la dieta J que no contenía harina de pescado, aunque la tilapia creció rápidamente con ambas dietas. Sin embargo, otra prueba con alevines de tilapia del Nilo no mostraron diferencias de crecimiento al ser alimentados con las dietas J y H. Otras tres pruebas de alimentación fueron realizadas con carpa para evaluar las dietas H, J y K. En esos ensayos, la carpa alimentada con una dieta basada en proteínas vegetales creció tanto como aquellos alimentados con dietas que contenían 5% de harina de pescado.

La dieta antes descrita basada en proteínas vegetales y las dietas que contenían entre el 5 y el 10% de harina de pescado también fueron evaluadas en diferentes especies omnívoras en 23 ensayos en jaulas durante 1995 y 1996 (Asociación Americana de Soja, 1996). En estos ensayos, la dieta J basada en proteínas de origen vegetal produjo igual o mejor crecimiento que las dietas H y K que contenían 5% de harina de pescado en seis de ocho ensayos en la tilapia del Nilo, cinco de siete ensayos en la carpa común, dos de dos ensayos en carpín y en un único ensayo en carpa.

La ASA llevó adelante varios ensayos demostrativos con dietas para crías, alevines y engorde en diversas especies que han abarcado varios años. Diversas especies de carpas han sido el centro de muchos de estos ensayos. Un ensayo demostrativo en carpa común (Cremer y Zhang, 1999a) evaluó una dieta de extruido (designada 32/6 engorde) que contenía 32% de proteínas brutas y 6% de lípidos de un 57% de harina de soja, 6% de harina de gluten de maíz, 29,4% de productos del trigo, y varios suplementos de aceites, vitaminas y minerales. Esta dieta permitió que las carpas crecieran de un promedio de 35 gramos a 623 gramos en un período de 150 días con un índice de conversión alimenticia del 1,47:1 y un 97% de índice de supervivencia. La producción y la supervivencia de la carpa plateada también fueron bastante aceptables.

También se han obtenido excelentes resultados al utilizar dietas basadas en harina de soja en carpa mirror de menor tamaño. En un estudio (Cremer et al., 2001a) las carpas mirror fueron criadas de 0,6 gramos a 2 gramos utilizando una dieta desmenuzada (designada 41/11 crías) que contiene 41% de proteína bruta y 11% de lípidos de una preparación de 46,3% de harina de soja, 15% de harina de gluten de maíz, 14 % de harina de anchoíta, 13% de trigo y varios suplementos de minerales, vitaminas y aceite. Luego, una dieta de extruido (designada 36/7 alevines) que contenía 36% de proteínas brutas y 7% de lípidos de una preparación de 46,3% de harina de soja, 10% de harina de gluten de maíz, 8% de harina de anchoíta, 27% de productos derivados del trigo y varios suplementos de minerales, vitaminas y aceite ha sido proporcionada a los peces por un período de producción de 85 días restantes. Al final del ensayo, los peces promediaban los 165 gramos y su índice de conversión alimenticia promediaba el 1,24:1. Además, la producción de carpa plateada también se realizó utilizando la tecnología de producción 80:20.

Se han realizado ensayos similares con los carpines de crías a alevines (Cremer and Zhang, 1999b), y de alevines a tamaño comercial (Cremer y Zhang, 1999c; Cremer et al., 2000a). Las crías fueron alimentadas con una dieta desmenuzada (que incluía 46% de harina de soja y 14% de harina de anchoas) desde los 0,14 gramos hasta aproximadamente los 10 gramos, luego pasaron a la dieta de extruido 36/7 (que incluía 46%

de harina de soja y 8% de harina de anchoas) hasta alcanzar un promedio de 50 gramos en 150 días con índice de conversión alimenticia promedio de 1,8:1. Dietas similares han sido utilizadas para el engorde de la carpa wuchang de 0,2 gramos a 44 gramos en 117 días con un índice de conversión alimenticia de 1,36:1 (Cremer et al., 2000b). Carpas crucian de 50 gramos fueron alimentadas con la dieta 32/6 que contenía 32% de proteínas y 6% de lípidos (incluyendo 53% de harina de soja y nada de harina de pescado) y fueron llevadas a un tamaño comercial de 200 gramos con un índice de conversión alimenticia de 1,63:1 en 164 días (Cremer et al., 2000a). Una dieta similar de proteínas de origen vegetal permitió que grupos de carpín que inicialmente promediaban los 32, 44 y 64 gramos alcancen un tamaño comercial de 250 gramos en 150 o 165 días con valores de índice de conversión alimenticia que fluctuaban entre el 1,5:1 y el 1,61:1 (Cremer y Zhang, 1999c).

También se han estudiado en China las dietas destinadas para las primeras etapas de la producción de la carpa herbívora. La cría de carpa herbívora fue alimentada con la dieta desmenuzada 41/11 basada en harina de soja hasta aproximadamente los 5 gramos y luego pasó a la dieta extruida 36/7 alcanzando los 83 gramos en 121 días con un índice de conversión alimenticio del 1,12 (Cremer y Zhang, 1999d). La dieta extruida 32/6 de proteína completamente vegetal también proporcionó un excelente crecimiento en la carpa herbívora desde alevines hasta tamaño comercial (750 gramos) con un promedio de índice de conversión alimenticio de 1,2:1 a 1,6:1 (Cremer et al., 2000c, 2001b). Sin embargo, una dieta que contiene 32% de proteínas, 3% de lípidos y 8% de fibras de un 50% de harina de soja y un 16% de cáscaras de soja proporcionó la producción más eficiente en cuanto a costo-efectividad en la carpa herbívora en varios ensayos diferentes de producción con valores de índice de conversión que fluctuaban entre el 1,2:1 y el 1,6:1 (Cremer et al., 2000c, 2001b). Otras fórmulas prácticas para dietas para carpas herbívoras han contenido entre el 24 y el 30% de proteínas brutas y rutinariamente incluyeron 50% de harina de soja (Ding, 1991).

Otra especie que ha respondido favorablemente a la dieta basada en harina de soja y a la tecnología 80:20 es el bigmouth buffalo (*Ictiobus sp.*). En una demostración, la cría de buffalo fue alimentada con la dieta desmenuzada 41/11 desde 0,5 a 10 gramos y luego fue llevada a la dieta extruida 36/7 hasta que alcanzó un promedio final de 60 gramos en 106 días con un promedio de índice de conversión alimenticia de 0,93:1 (Cremer y Zhang, 1999f). La dieta extruida 32/6 de proteínas de origen completamente vegetal impulsó el crecimiento del buffalo de 60 gramos a un promedio de 464 gramos en 120 días con un promedio en el índice de conversión alimenticio de 0,99:1 (Cremer et al., 2000d).

El bagre de canal también ha sido cultivado en varias fases utilizando dietas basadas en harinas de soja y la tecnología de estanque 80:20. En un ensayo, las crías de bagre de canal fueron alimentadas con la dieta desmenuzada 41/11 desde una etapa inicial hasta aproximadamente los 2 gramos y luego fueron llevadas a una dieta 36/7 extruida para alevines. Las crías crecieron de los 1,7 gramos a un promedio de 49 gramos en 101 días con un índice de conversión alimenticia de 0,93:1 (Cremer et al., 2000e). Los alevines de bagre de canal también mostraron una eficiente producción excelente para tamaño comercial utilizando una dieta 32/6 extruida de proteínas vegetales. En un ensayo de producción, los bagres de canal crecieron de 126 gramos a 570 gramos en 139 días con un índice de conversión alimenticio de 1,61:1 (Cremer et al., 2001c).

En otro ensayo, los bagres de canal crecieron de 59 a 672 gramos en 156 días con un índice de conversión alimenticia de 1,44:1 (Cremer et al., 2001d). En el caso de los bagres de canal albinos cultivados en jaulas, la dieta 32/6 extruida de proteínas sólo de origen vegetal también proporcionó un rápido crecimiento y un promedio de índice de conversión alimenticia de 1,6 (Cremer et al., 2000f). Los resultados de diversos

ensayos de producción en China fueron consistentes con las evaluaciones de las dietas realizadas en los Estados Unidos respecto del bagre de canal llevado a tamaño comercial en estanques en tierra. Muchos de estos estudios (Robinson y Li, 1993, 1994, 1998, 1999; Robinson et al. 2000; Reigh, 1999; Li et al., 2000) han demostrado que el completo reemplazo de la harina de pescado por la harina de soja u otros ingredientes, tales como la harina de semilla de algodón o de carne y hueso no implican dificultad en el crecimiento ni en la eficiencia alimentaria del bagre de canal. El nivel de harina de soja en esas dietas generalmente es entre el 41 y el 52%.

Esfuerzos de Investigación en la Harina de Soja

En los últimos años se ha prestado debida atención a los potenciales efectos negativos del nitrógeno, el fósforo y la materia orgánica emitidos por los sistemas acuícolas en el medioambiente (Gatlin y Hardy, 2002). El fósforo y el nitrógeno de origen dietario son dos productos excretorios de organismos acuícolas que son de importancia porque pueden contribuir a la eutrofización de los sistemas acuáticos. Los peces también producen desechos orgánicos de componentes no digeridos de la dieta que contribuyen a la demanda bioquímica de oxígeno de los sistemas acuícolas. Una más eficiente utilización de la materia orgánica, el nitrógeno (de la proteína) y el fósforo derivados de la dieta podrían contribuir directamente en reducir el impacto medioambiental de la acuicultura. Esta creciente eficiencia de la utilización de los nutrientes es particularmente importante dado que varios sectores de la industria acuícola están proyectando expandirse e intensificar la producción en la próxima década para alcanzar la siempre creciente demanda de productos de pesqueros (Tidwell y Allan, 2002).

El potencial incremento en el uso de harina de soja en las dietas de la acuicultura es sustancial debido a su valor nutricional y a costos-efectividad comparada con otros alimentos proteicos. El incremento de la disponibilidad de nutrientes derivados de la harina de soja podría aumentar la acuicultura a la vez que reduce el potencial de excreción de nutrientes enriquecedores por parte de los organismos cultivados.

El fósforo presente en la harina de soja se encuentra principalmente en su forma orgánica de fósforo fitina o fitato, que generalmente comprende el 67% del fósforo en ingredientes vegetales. Esta forma de fósforo no está disponible para animales monogástricos incluyendo varias especies de peces (NRC, 1993; Buykates et al., 2000) debido a su falta de fitasa, la enzima encargada de liberar el fósforo del fitato. A pesar de que las dietas a base de harina de soja generalmente contienen menos fósforo que las dietas que contienen ingredientes de origen animal, se prefiere un incremento en la disponibilidad de fósforo de los productos de soja para restringir la cantidad de fósforo suplementario requerido en dietas y también limitar la cantidad de lo excretado por los peces en el medioambiente.

Muchos estudios han mostrado que el agregado de fósforo fúngico a las dietas basadas en harina de soja puede incrementar eficazmente la disponibilidad de fósforo en varias especies de peces tales como la carpa común (Schafer et al., 1995), el bagre de canal (Jackson et al., 1996; Eya y Lovell, 1997; Li y Robinson, 1997; Yan et al., 2002) y el pez gato (van Weerd et al., 1999). Sin embargo, la inestabilidad de la fitasa frente al calor, normalmente encontrada en la elaboración de alimentos, ha restringido su uso en fórmulas para dietas de peces. No obstante, el desarrollo de técnicas de elaboración a baja temperatura y la aplicación de fitasa luego de la extrusión ha proporcionado crecientes oportunidades para su uso en las dietas de especies acuáticas. En este momento la otra restricción para suplementar la fitasa en las dietas de especies acuáticas es el costo de la encima. Otro enfoque para limitar la cantidad de fósforo fitina en la harina de soja es desarrollar mutaciones bajas en ácidos fíticos tal como se lo hizo con otros importantes cereales, tales como el maíz y la cebada (Sugiura et al., 1999).

La harina de soja también contiene polisacáridos sin almidón, tales como el galactomano, que la mayoría de los animales monogástricos, incluyendo los peces, no digieren eficientemente. El uso de encimas exógenas, tales como la xilanasa, α -galactosidasa, β -glucanasa y endo β mananasa, para lograr que esta fracción oligosacárida sea más digerible ha tenido resultados positivos en algunas especies terrestres tales como las aves de corral (Ward y Fodge, 1996; Lobo, 1999a). Una mejor digestión de esta fracción en la harina de soja no sólo incrementaría la energía digerible de este alimento, sino también limitaría la cantidad de desechos orgánicos excretados por el pez. La restricción física de aplicar estas encimas termolábiles a alimentos acuáticos producidos por extrusión sería la misma mencionada con la suplementación con fitasa (Lobo, 1999b).

Otra área de investigación en la que hay que ahondar es en determinar la disponibilidad de aminoácidos en la harina de soja con más especies omnívoras. La información actual está disponible para sólo algunas especies y se han obtenido un número limitado de experimentos. Más información respecto de la disponibilidad de aminoácidos en la harina de soja en varias especies podría permitir una mayor flexibilidad en el uso de la harina de soja, así como también asistirle en refinamientos de fórmulas para dietas. Al ampliarse esta información, puede lograrse una formulación de dieta más precisa sobre una base de aminoácidos disponible de manera tal que los requerimientos de aminoácidos de los peces puedan alcanzarse con mayor precisión. Este refinamiento también puede incrementar la eficiencia de la utilización de aminoácidos por parte de los peces y, en consecuencia, limitar la excreción de nitrógeno al medioambiente.