

Capítulo 25

Uso de los DDGS en las dietas acuícolas

Introducción

La acuicultura es una de las industrias de producción de alimentos para consumo humano de más rápido crecimiento en el mundo. Históricamente, la harina de pescado se ha utilizado como principal componente en la mayoría de las dietas acuícolas, debido a su alto contenido de proteína, un perfil bien equilibrado de aminoácidos altamente digestibles, cantidades importantes de ácidos grasos esenciales, contenido energético altamente digestible, así como su contenido de vitaminas y minerales (Abdelghany, 2003). Sin embargo, la menor disponibilidad de harina de pescado y el aumento en el costo ha causado que nutriólogos (o nutricionistas) y fabricantes de alimentos busquen ingredientes alternativos menos caros y de alta calidad, principalmente harinas de origen vegetal, para sustituirla parcial o completamente en las dietas acuícolas. Desafortunadamente, a menudo la sustitución de la harina de pescado con ingredientes de origen vegetal resulta en una reducción del desempeño del crecimiento (Mbahinzirek et al., 2001; Sklan et al., 2004; Gatlin et al., 2007), a menos que se añadan a estas dietas cantidades adecuadas de otros ingredientes o suplementos para poder cubrir los requerimientos de nutrientes, en particular de aminoácidos. Sin embargo, cuando se añaden a la dieta dos o más fuentes de proteína vegetal complementaria (DDGS y la harina de soya), existe el potencial de sustituir toda la harina de pescado en la dieta. Por lo tanto, uno de los principales desafíos que limitan el uso con éxito de los ingredientes vegetales alternativos en los alimentos acuícolas es conocer la composición y digestibilidad de los aminoácidos.

La acuicultura, al igual que la producción de ganado y de aves en todo el mundo, está también sujeta a mayores reglamentaciones ambientales. Los dos nutrientes de mayor preocupación en aguas residuales de las granjas de peces son el nitrógeno y el fósforo. La harina de soya y los DDGS son relativamente altos en proteína pero mucho más bajos en fósforo que la harina de pescado. Como resultado, la sustitución de la harina de pescado por DDGS y harina de soya en las dietas acuícolas reducen el nivel de fósforo total en la dieta y en las aguas de descarga de las granjas piscícolas.

Valor nutritivo de los DDGS en alimentos acuícolas

Los DDGS de maíz son un ingrediente alto en energía, de contenido medio de proteína y de fósforo altamente digestible. No obstante, pueden variar significativamente entre las fuentes el contenido y la digestibilidad de los nutrientes (Spiehs et al., 2002). La mayor parte de la energía en los DDGS se deriva de su contenido de grasa cruda relativamente alto, con menores cantidades que contribuyen al almidón, fibra y proteína residuales.

El contenido de grasa cruda de los DDGS es de aproximadamente 10% (con base en como se alimenta) y 55.7, 7.8, 0.14% de la grasa total es ácido linoleico, ácido linolénico y de DHA,

respectivamente. Como resultado, los DDGS tienen una proporción alta de omega 6 a omega 3. Durante los últimos dos años, más de 50% de las 207 plantas de etanol en EUA están extrayendo parte del aceite antes de hacer DDGS, debido a las altas utilidades de comercializar el aceite de maíz crudo. Por lo tanto, el contenido de grasa cruda de los DDGS se ha hecho más variable (de 5 a 12%) y los DDGS reducidos en aceite resultantes vienen con un menor valor de energía digestible.

El contenido de almidón en los DDGS es bajo y puede variar de 1.1 a 7.9 % (base materia seca), en función del grado de fermentación del almidón a etanol (Anderson et al., 2012). No se sabe si el almidón presente en los DDGS es digestible o si está en forma de almidón resistente.

Los valores promedio del contenido de fibra cruda, FAD, FND y FTD en los DDGS es de 6.6, 11.1, 37.6 y 31.8% respectivamente, mientras que la mayoría (96.5%) de la FTD es fibra insoluble (Urriola et al., 2010). El contenido de fibra neutrodetergente es uno de los componentes nutricionales más variables en los DDGS, además de que no queda claro si se debe esto a la alta variabilidad en las mediciones analíticas entre laboratorios o si el contenido de fibra del maíz es realmente lo que varía entre las fuentes de los DDGS. No se ha determinado la digestibilidad de la fibra de los DDGS en peces, pero los estudios realizados con otras especies de monogástricos indican que puede ser significativa, pero variable. Parece que los peces con una mayor habilidad de utilizar dietas altas en fibra se desempeñan bien con niveles altos de inclusión de DDGS en la dieta, en comparación con algunas especies que tienen muy poca fermentación en el intestino grueso.

A pesar del contenido de proteína cruda relativamente alto en los DDGS (27%), las concentraciones de lisina, metionina, treonina y triptofano son relativamente bajas en relación a los requerimientos de aminoácidos de los peces. Además, la lisina es el más variable de todos los aminoácidos entre las fuentes de DDGS, así como también su digestibilidad debido al grado de calentamiento durante el proceso de producción de esta materia prima. Como resultado, las dietas de peces que requieren niveles altos de proteína deben suplementarse con aminoácidos cristalinos cuando se añaden cantidades importantes de DDGS. Se ha determinado la digestibilidad aparente de los aminoácidos de los DDGS en dietas de trucha arcoíris, la cual es relativamente alta (> 90% de los aminoácidos esenciales, excepto la treonina), pero la digestibilidad de los aminoácidos no se ha determinado en otras especies acuícolas (Cheng y Hardy, 2004a).

El contenido de fósforo en los DDGS (0.75%) es más alto que en otros ingredientes vegetales, además de que gran parte del fósforo fítico se libera durante la fermentación del maíz en la

producción de etanol, lo que hace que sea altamente digestible para especies monogástricas (Stein y Shurson, 2009). Sin embargo, la digestibilidad de fósforo en los DDGS y los valores de disponibilidad aún no se han determinado en peces.



Las vitaminas, entre ellas la riboflavina, niacina, ácido pantoténico, ácido fólico y colina están alrededor de tres veces más altas en los DDGS que lo que se encuentra en el maíz (Hertrampf y Piedad-Pascual, 2000). Los macrominerales tales como el calcio, el cloro y el potasio se encuentran en bajas cantidades en los DDGS en relación a los requerimientos de los peces, de tal forma que deben suplementarse (Hertrampf y Piedad-Pascual, 2000). Además, las concentraciones de zinc, hierro, manganeso y cobre en los DDGS son más bajas que lo que normalmente se encuentra en la harina de pescado, pero los requerimientos pueden fácilmente cubrirse con la suplementación de estos micronutrientes. Hay pocos datos con respecto al contenido y biodisponibilidad de xantofilas en los DDGS, o de su impacto en el color de la carne de los peces, pero los pocos valores informados en la literatura indican que pueden ser altamente variables e ir de 3.5 a 29.8 mg/kg.

Una de las ventajas distintivas de los DDGS en comparación con otros ingredientes vegetales es que no contienen factores antinutricionales como los que se encuentran en la harina de soya (inhibidores de tripsina; Wilson y Poe, 1985; Shiau et al., 1987), en la harina de colza (glucosinolatos y ácido erúico) y en la harina de semilla de algodón (gosipol; Jauncey y Ross, 1982; Robinson, 1991), además de que contienen niveles bajos de fitato en comparación con otros ingredientes de origen vegetal.

Bagre de canal (*Ictalurus punctatus*)

Tidwell et al. (1990) llevaron a cabo un experimento por un período de 11 semanas, en el que los alevines de bagre de canal se alimentaron con dietas que contenían 0, 10, 20 y 40% de DDGS en sustitución parcial del maíz y de la harina de soya. Después del periodo de alimentación de 11 semanas no hubo diferencias significativas en el peso individual de los peces, porcentaje de supervivencia, conversión alimenticia o tasa de eficiencia proteica (PER) entre los tratamientos de dieta (**cuadro 1**). Sin embargo, los peces que consumieron la dieta con 20% de DDGS fueron ligeramente más cortos en longitud, en comparación con los que consumieron otros tratamientos de dietas.

Cuadro 1. Longitud, supervivencia, peso corporal final, conversión alimenticia y tasa de eficiencia proteica (PER) en alevines de bagre de canal alimentados con dietas con cuatro niveles de granos de destilería con solubles (DDGS).

	0% de DDGS	10% de DDGS	20% de DDGS	40% de DDGS
Longitud, mm	115.2	114.1	107.4	117.8
Supervivencia, %	67.5	70.0	80.0	90.0
Peso corporal final, g	17.3	15.2	13.2	16.5
Alimento/ganancia	2.85	3.23	3.20	2.60
PER	0.99	0.87	0.88	1.05

En un estudio llevado a cabo por Webster et al. (1993), alimentaron a juveniles de bagre en jaulas con dietas que contenían 0, 10, 20 o 30% de DDGS para sustituir parcialmente el maíz y la harina de soya en la dieta. No hubo diferencias en los pesos individuales de los peces, supervivencia, conversión alimenticia, composición y desperdicio de la canal (cabeza, piel y vísceras), así como en las propiedades organolépticas de los filetes entre los tratamientos de dieta. Los resultados de este estudio indican que se puede añadir hasta un 30% de DDGS a

las dietas de bagre de canal sin efectos negativos sobre el desempeño del crecimiento, la composición de la canal o la calidad del sabor de los filetes. Por lo tanto, se considera a los DDGS como un ingrediente aceptable en las dietas para bagre de canal (Tidwell et al., 1990; Webster et al., 1991).

Robinson y Li (2008) realizaron dos experimentos para evaluar el uso de la harina de semilla de algodón, DDGS y lisina sintética como sustitutos de la harina de soya en dietas de bagre de canal. Los peces alimentados con la dieta de DDGS y harina de soya tuvieron una ganancia de peso más alta (experimento 1) o similar (experimento 2), mientras que la conversión alimenticia fue más baja en ambos experimentos, que en los peces alimentados con las dietas control. La grasa corporal tendió a incrementarse en los peces alimentados con los DDGS y la harina de soya, en comparación con los alimentados con la dieta control. Los resultados de este estudio indican que la adición de hasta 30% de DDGS a dietas de bagre de canal sustenta un desempeño del crecimiento satisfactorio cuando la dieta se suplementa con lisina sintética.

Se alimentaron a juveniles de bagre (13 g de peso corporal) durante 12 semanas (Lim et al., 2009) dietas con 0, 10, 20, 30 y 40% de DDGS con lisina sintética suplementaria para reemplazar parcialmente la harina de soya y la harina de maíz con base en el contenido de proteína igual. El crecimiento del desempeño y la conversión alimenticia fueron similares entre los tratamientos de la dieta, pero la grasa corporal aumentó y la humedad corporal disminuyó cuando los peces se alimentaron con dietas que contenían DDGS, en comparación con los alimentados con la dieta control.

De la misma forma, Zhou et al. (2010) sustituyeron harina de soya y la harina de maíz en juveniles de bagres híbridos (bagre de canal × bagre azul *I. Furcatus*) y observaron que las dietas que contenían 30% de DDGS proporcionaron buen crecimiento, conversión alimenticia y retención de proteína. En general, los resultados de estos estudios indican que se pueden utilizar las tasas relativamente altas (30%) de inclusión en la dieta de DDGS, sin afectar de forma adversa el crecimiento de supervivencia o la conversión alimenticia.



Trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*)

Los alimentos para peces carnívoros como la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) requieren de grandes cantidades de harina de pescado (300 a 500 g/kg dieta). Como resultado, cuando es alto el precio de la harina de pescado, el nutriólogo empieza a evaluar fuentes alternativas de proteínas, como los DDGS, como sustituto parcial de esta materia prima.

Cheng y Hardy (2004a) informaron que ellos tenían datos no publicados que indicaban que eran altos los coeficientes de digestibilidad aparente de los nutrientes en los DDGS para la trucha arcoíris. Evaluaron coeficientes de digestibilidad aparente de la proteína cruda (90.4%), aminoácidos esenciales (> 90%, excepto para treonina que fue de 87.9%) y aminoácidos no esenciales (> 86%, excepto para la cistina que fue del 75.9%) para los DDGS. Sin embargo, señalaron que una de las limitantes de usar DDGS en las dietas de trucha arcoíris es el nivel relativamente bajo de lisina y metionina, que es mucho más bajo que el encontrado en la harina de pescado. Por lo tanto, es necesaria la suplementación de lisina y metionina sintéticas para poder lograr un desempeño satisfactorio en el crecimiento. De esta forma, Cheng y Hardy (2004a) llevaron a cabo un estudio de alimentación de seis semanas para determinar los efectos de alimentar dietas con 0, 7.5, 15 y 22.5% de DDGS, con o sin la suplementación de lisina y metionina sintéticas, para determinar el valor nutritivo de este ingrediente en las dietas para trucha arcoíris de 50 g. La tasa de supervivencia de todos los peces utilizada para el estudio fue del 100%. Los peces alimentados con las dietas que contenían 15% de DDGS, o que sustituían el 50% de la harina de pescado con base isonitrogenada e isocalórica, tuvieron una ganancia de peso así como una conversión alimenticia similar, en comparación con los peces alimentados con las dietas basadas en harina de pescado. Estos resultados indican que pueden añadirse DDGS, sin suplementación de lisina y metionina sintéticas, a las dietas hasta

en un 15%, o reemplazar hasta el 50% de la harina de pescado para lograr un desempeño del crecimiento satisfactorio. Además, se pueden usar DDGS a un nivel de inclusión del 22.5% de la dieta o sustituir hasta un 75% de la harina de pescado en las dietas de trucha arcoíris con la suplementación de lisina y metionina. Además, Cheng et al. (2003) mostraron que cuando se añadían harina de soya, DDGS y 1.65 g/kg del hidroxianálogo de la metionina (MHA) a las dietas de trucha arcoíris (50 g de peso corporal inicial) para sustituir el 50% de la harina de pescado, se mejoraron significativamente la ganancia de peso, conversión alimenticia, retención de proteína cruda y fósforo, en comparación con los peces que consumieron una dieta equivalente sin la suplementación de MHA.



Cheng y Hardy (2004b) también evaluaron los efectos de la suplementación de fitasa sobre los coeficientes de digestibilidad aparente de los nutrientes en los DDGS, así como el desempeño del crecimiento y la retención aparente de nutrientes de las

truchas arcoíris alimentadas con dietas que contenían DDGS, fitasa y niveles variantes de premezclas de minerales traza. Los coeficientes de digestibilidad aparente en las dietas con DDGS (30% de inclusión) con diferentes niveles de fitasa (0, 300, 600, 900 y 1200 UFT/kg de la dieta) estuvieron en un intervalo de 49 a 59% para la materia seca, 79 a 89% para la grasa cruda, 80 a 92% para la proteína cruda, 51 a 67% para la energía bruta, 74 a 97% para los aminoácidos y de 7 a 99% para los minerales. Cuando se incluyeron los DDGS a una tasa del 15% de la dieta y se suplementaron con lisina, metionina y fitasa, pero con diferentes niveles de premezcla de minerales traza, no hubo diferencias en la ganancia de peso, conversión alimenticia, supervivencia, composición corporal y retención aparente de nutrientes entre los peces alimentados con todas las dietas, excepto aquéllos alimentados con la dieta sin la suplementación de minerales traza. Estos resultados indican que la fitasa fue eficaz en liberar la mayor parte de los minerales y que se pudo reducir la suplementación de minerales traza cuando se añadió fitasa a las dietas de trucha arcoíris.

Stone et al. (2005) evaluaron los efectos de la extrusión sobre el valor nutritivo de las dietas que contenían harina de gluten de maíz y DDGS para trucha arcoíris; observaron que la cantidad de sustitución de harina de pescado en la dieta dependía de la relación de los DDGS a la harina de gluten de maíz que se usaba. Sus resultados indican que la inclusión de hasta un 18% de estos coproductos de maíz puede sustituir alrededor de un 25% de la harina de pescado en dietas prácticas, sin afectar negativamente el desempeño del crecimiento. También encontraron que no fue de beneficio la extrusión de las dietas que contenían DDGS y harina de gluten de maíz, en comparación con las dietas peletizadas en frío.

Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

La tilapia (*Oreochromis niloticus*) es uno de los peces de aguas cálidas de más popularidad que se cultiva en todo el mundo. Wu et al. (1994) notificaron que las dietas que contenían ya fuera harina de gluten de maíz (18%) o DDGS (29%), y 32% o 36% de proteína cruda, resultaron en ganancias de peso mayores en las tilapias (peso inicial de 30 g), que los peces alimentados con alimento comercial con 36% de proteína cruda y harina de pescado. En un estudio posterior, Wu et al., (1996) evaluaron las respuestas del crecimiento en un periodo de alimentación de ocho semanas en tilapias más pequeñas (0.4 g de peso inicial) con la administración de dietas con hasta 49% de DDGS, hasta 42% de harina de gluten de maíz >20% de proteína o hasta el 22% de harina de gluten de maíz, con niveles de proteína cruda en la dieta del 32%, 36% y 40%. De las ocho dietas alimentadas, la mayor ganancia de peso se logró con la alimentación de la dieta comercial control de 36% de proteína y la dieta de 40% de proteína con 35% de DDGS. La conversión alimenticia más alta se logró con la alimentación de la dieta control (1.05) y con dos dietas de 40% en proteína que contenían 35% de DDGS (1.13) o 30% de harina de gluten de >20% de proteína (1.12). La tasa de eficiencia de proteína más alta (ganancia de peso/proteína alimentada) se obtuvo con la alimentación de la dieta control (3.79) y con dos dietas de 36% de proteína que contenían 49% de DDGS (3.71) o 42% de harina de gluten de maíz >20% de proteína (3.55). De estos resultados, los investigadores concluyeron que la alimentación de dietas con 32%, 36% y 40% de proteína y 16 a 49% de coproductos del etanol ricos en proteína resultará en una buena ganancia de peso, conversión alimenticia y tasas de eficiencia de proteína para los alevines de tilapia.

Al utilizar DDGS en dietas acuícolas, también es importante saber si las dietas con contenido de proteína más bajo y mayores cantidades de coproductos de maíz (DDGS, harina de gluten de >20% de proteína o harina de gluten) y aminoácidos sintéticos pueden sustentar un desempeño satisfactorio del crecimiento. Wu et al., (1997) evaluaron el desempeño del crecimiento de alevines de tilapia (0.5 g de peso inicial) en un periodo de alimentación de ocho semanas con dietas que contenían 28% o 32% de proteína, lisina y triptofano sintéticos y 54 a 92% de coproductos de maíz. No hubo diferencias significativas en la conversión alimenticia (1.76 contra 1.43) y la tasa de eficiencia de proteína (1.82 contra 2.21) entre los peces alimentados con la dieta con 28% de proteína que contenía 82% de DDGS y lisina y triptofano sintéticos, o la de 67% de harina de gluten de maíz >20% de proteína y 26% de harina de soya y los peces alimentados con la dieta control con 32% de proteína (CA = 1.25, PER = 2.05). Con base en estos resultados, se pueden utilizar con éxito los DDGS y otros coproductos de maíz junto con la suplementación de aminoácidos sintéticos, para formular dietas completamente vegetales y sustituir toda la harina de pescado para juveniles de tilapia.

Tidel et al. (2000) evaluaron el crecimiento, supervivencia y composición corporal de tilapia del Nilo cultivada en jaulas, alimentada con dietas de DDGS peletizadas y no peletizadas en policultivos con langostinos. La tasa de crecimiento fue más alta para los peces alimentados con la dieta de DDGS peletizada que para los que no la recibieron peletizada, pero la alimentación de una dieta comercial de bagre resultó en un mayor peso individual, longitud individual, tasa de crecimiento y conversión alimenticia. Aunque el crecimiento fue significativamente mayor para los peces alimentados con la dieta comercial, también fue significativamente mayor el costo de producción (US\$0.66/kg de ganancia), en comparación con los peces alimentados con las



dietas de DDGS peletizada y no peletizada (US\$0.26/kg de ganancia y US\$0.37/kg de ganancia, respectivamente). La producción de langostinos fue de 1,449 kg/por hectárea y la adición de la tilapia en policultivo aumentó la productividad total del estanque en 81%. Estos investigadores concluyeron que la alimentación de DDGS proporciona un crecimiento económico de la tilapia y que el policultivo con este pez puede mejorar la eficiencia total de los estanques de producción de langostinos en climas templados.

Los juveniles de tilapia del Nilo (9.4 g de peso corporal) se alimentaron con dietas con 0, 10, 20, 40% de DDGS y 40% de DDGS con lisina sintética suplementaria, como sustitutos parciales de las harinas de soya y de maíz durante 10 semanas, y se desafiaron con *Streptococcus iniae* (Lim et al., 2007). Los peces alimentados con el 40% de los DDGS tuvieron la ganancia de peso más baja, así como la eficiencia de proteína y la proteína corporal total, y las peores conversiones, pero la suplementación de la dieta del 40% de DDGS con lisina sintética mejoró la ganancia de peso y la tasa de eficiencia proteica. La alimentación de dietas que contienen DDGS no tuvo efectos sobre el número de días para la primera mortalidad, la mortalidad acumulada a los 14 días posterior al desafío o los parámetros hematológicos e inmunitarios. Los autores concluyeron que se puede añadir a la dieta hasta el 20% de DDGS como sustituto parcial de la harina de soya y la harina de maíz sin afectar el desempeño del crecimiento, composición corporal, hematología, respuesta inmunitaria y resistencia a la infección de *Streptococcus iniae*.

Abo-State et al. (2009) reemplazaron la soya en incrementos entre 0 y 100% con DDGS en las dietas, con o sin fitasa en tilapia del Nilo (2 g de peso corporal inicial). Observaron la mejor tasa de crecimiento y conversión alimenticia en las dietas con 0%, 25% y 50% de DDGS con fitasa. Schaeffer et al. (2009) realizaron dos estudios para evaluar el uso de los DDGS en las dietas de tilapia (35 g de peso corporal inicial). La alimentación de dietas con 0%, 17.5%, 20%, 22.5%, 25% y 27.5% de DDGS para sustituir parcialmente la harina de pescado, resultó sin diferencias en la digestibilidad aparente entre dietas, pero la ganancia de peso, conversión alimenticia y tasa de eficiencia proteica (PER) fueron los más altos para los peces alimentados con el 0% de DDGS, excepto el 17.5% de DDGS que brindó la mejor conversión alimenticia y PER. En un segundo estudio, la tilapia del Nilo se alimentó con 20%, 25% y 30% de DDGS, con o sin probiótico, en el que no se encontraron diferencias en cuanto a la ganancia de peso, conversión alimenticia o PER entre tratamientos de la dieta.

Los resultados de estos estudios indican que los DDGS pueden ser un ingrediente altamente económico para las dietas de tilapia y que se pueden usar con éxito en una tasa de inclusión relativamente alta, si se suplementa de manera adecuada con aminoácidos.

Lobina (*Morone chrysops* x *M-saxatilis*)

Un estudio reciente realizado por Thompson et al. (2008) evaluó la digestibilidad de la materia seca, proteína, lípidos y materia orgánica de dos harinas de pescado, dos harinas de subproductos avícolas, harina de soya y DDGS en dietas prácticas para lobina. Los peces alimentados con DDGS presentaron los coeficientes de digestibilidad aparentes más bajos de proteína (65%) y materia orgánica (17%) en comparación con la harina de pescado menhaden,

que presentó los coeficientes de digestibilidad de proteína y de materia orgánica más altos (86 y 89%, respectivamente). No se definió la calidad de los DDGS utilizados, pero es probable que fuera de calidad inferior debido a la baja digestibilidad de proteína y materia orgánica observada en este estudio. Estos resultados contrastan con los de varios otros estudios descritos para otras especies anteriormente, en los que la inclusión de DDGS en las dietas brindó un desempeño satisfactorio, e indican que deben usarse solamente fuentes de DDGS de alta calidad en los alimentos acuícolas para poder lograr un desempeño del crecimiento satisfactorio y una buena digestibilidad de nutrientes.

Langostinos de río (*Macrobrachium rosenbergii*)

Se han llevado a cabo pocos trabajos con la alimentación de dietas con DDGS en langostinos de río. En un estudio inicial, Tidwell et al. (1993a) alimentaron juveniles de langostinos de río (0.66 g) una de tres dietas isonitrogenadas (29% proteína cruda) con 0, 20 o 40% de DDGS. No hubo diferencias entre los tratamientos de la dieta para el rendimiento promedio (833 kg/hectárea), supervivencia (75%), peso individual (57 g) y conversión alimenticia (3.1). Estos resultados muestran que se pueden incluir niveles de hasta 40% de DDGS en las dietas prácticas de langostinos con una densidad de 19,760/hectárea para lograr un buen desempeño.

En un estudio posterior, Tidwell et al. (1993b) evaluaron los efectos de reemplazar parcialmente la harina de pescado con harina de soya y DDGS en dietas para juveniles de langostinos cultivados en estanques (0.51 g). Se formularon tres dietas con 32% de proteínas cruda y 15, 7.5 o 0% de harina de pescado. La harina de pescado se sustituyó con un porcentaje variable de harina de soya y un porcentaje fijo de DDGS (40%). No hubo diferencias entre los tratamientos de la dieta en cuanto al rendimiento promedio, supervivencia, peso individual y conversión alimenticia. Señalaron que la sustitución de la harina de pescado con harina de soya y DDGS aumentó los niveles de glutamina, prolina, alanina, leucina y fenilalanina, y disminuyó los niveles de ácido aspártico, glicina, arginina y lisina de las dietas. También cambiaron los perfiles de ácidos grasos de las dietas cuando se sustituyó la harina de pescado con harina de soya y DDGS. Aumentaron las concentraciones de 16:0, 18:2n-6 y 20:1n-9 y disminuyeron las de 14:0, 16:1n-7, 18:1n-9, 18:3n-3, 20:5n-3, 22:5n-3 y 22:6n-3. Estos resultados indican que se puede sustituir parcial o totalmente la harina de pescado con harina de soya y DDGS en dietas para langostinos de río cultivados en estanques en zonas templadas. Coyle et al. (1996) mostraron que los juveniles de langostinos (> 2 g) pueden consumir directamente DDGS y que pueden tener un doble propósito: como alimento y como fertilizante del estanque.

Camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*)

Se realizó un estudio en aguas interiores de baja salinidad en el oeste de Alabama para determinar el valor de la sustitución de la harina de pescado (10%) con harina avícola, harina de chícharos (guisantes) o DDGS en dietas para camarones con base en el peso (Lim et al., 2009). No se observaron diferencias entre los tratamientos de la dieta en cuanto a la tasa de crecimiento, supervivencia y conversión alimenticia, lo que indica que la harina avícola, la harina de guisantes y los DDGS pueden sustituir muy bien a la harina de pescado como fuente de proteína para el crecimiento de camarones en aguas de baja salinidad.

Posibles beneficios en la salud de los DDGS

La adición de DDGS a alimentos acuícolas parece tener efectos benéficos en el mejoramiento del estado inmunitario y la resistencia a algunas enfermedades en peces. Lim y colaboradores (2009) mostraron que la alimentación de dietas que contienen 40% de DDGS en bagre de canal brindó resistencia a *Edwardsiella ictaluri* que muy probablemente se debió a un aumento

en la hemoglobina y en el hematocrito, en la inmunoglobulina sérica total y en los títulos de anticuerpos 21 días después del desafío. De la misma forma, Lim et al. (2007) mostraron que la alimentación de dietas con 40% de DDGS a tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) mejoró la resistencia *Streptococcus iniae*. Los investigadores han supuesto que los factores que contribuyen a estas respuestas positivas son compuestos biológicamente activos derivados de las levaduras, que comprenden aproximadamente del 4 al 7% de los DDGS. Se han publicado muy pocos datos sobre los niveles de estos compuestos en los DDGS, pero el contenido de β -glucano de esta materia prima es de aproximadamente del 8%.

Extrusión de dietas con DDGS

En general, los niveles altos de fibra en los DDGS son problemáticos, especialmente en concentraciones muy altas. Los investigadores han determinado que los factores más críticos que afectan la extrusión y la calidad del pélet de las dietas con DDGS son la geometría del dado, temperatura, contenido de humedad y velocidad del tornillo. La adición de varios materiales aglutinantes mejora la durabilidad del pélet y la densidad por unidad. Se pueden producir alimentos flotantes viables con 60% de DDGS bajo condiciones específicas que resulten en alimentos que floten con valores de densidad por unidad de 0.24 g/cm³ a 0.61 g/cm³ y valores de durabilidad que van del 96 al 98% (Chevanan et al., 2007; 2009).

Conclusiones

Ha sido poco el uso de los DDGS en alimentos acuícolas, pero existen oportunidades para usar cantidades importantes que logren un desempeño satisfactorio y reduzcan los costos de la dieta. Las tasas de inclusión de los DDGS son más altas en especies con una mayor capacidad de utilizar la fibra, pero varía con base en el tipo de ingredientes que sustituyen y las cantidades de otras fuentes de proteína (por ejemplo, harina de pescado) incluidas en la dieta. La suplementación de lisina, metionina y otros aminoácidos quizás sea necesaria a tasas de inclusión altas para poder cubrir los requerimientos, debido a los niveles relativamente bajos de estos aminoácidos en los DDGS y a pesar de tener un contenido de proteína cruda moderadamente alto. Los alimentos acuícolas altos en proteína pueden tener niveles de inclusión de DDGS más bajos, a menos que se suplemente adecuadamente con aminoácidos. Los DDGS son altos en ácido linoleico pero bajos en otros aminoácidos grasos esenciales. Entre los beneficios de la adición de DDGS a los alimentos acuícolas se encuentran: que son una excelente fuente de fósforo digestible, no hay preocupaciones sobre factores antinutricionales, puede brindar beneficios inmunitarios y se pueden producir pélets de alta calidad mediante condiciones adecuadas de extrusión. Se han utilizado con éxito tasas de inclusión en la dieta de 20 al 40% de DDGS en dietas para bagre de canal y tilapia, además de que se puede utilizar un 15% de DDGS en trucha arcoíris. Se requiere de más investigaciones para caracterizar mejor los beneficios y limitaciones de los DDGS en alimentos acuícolas y para determinar las tasas óptimas de inclusión en la dieta.

Con base en estos recientes estudios de investigación, la inclusión máxima de DDGS en la dieta se muestran en el **cuadro 2**. Aunque ninguno de los informes científicos especifican la

fuentes o calidad de los DDGS utilizados, deben usarse en DDGS dorados de color claro para garantizar la mayor digestibilidad de nutrientes, especialmente con niveles de inclusión altos.

Cuadro 2. Recomendaciones actuales de tasas máximas de inclusión de DDGS en la dieta para varias especies acuícolas.

Especie	% de DDGS	Comentarios
Bagre	Hasta el 30%	
Trucha	Hasta el 15%	Sin suplementación de lisina y metionina sintéticas
Trucha	Hasta el 22.5%	Con suplementación de lisina y metionina sintéticas
Salmón	Hasta el 10%	
Langostinos de río	Hasta el 40%	Puede sustituir parte o toda la harina de pescado en la dieta
Camarón	Hasta el 10%	Puede reemplazar una cantidad equivalente de harina de pescado
Tilapia	Hasta el 20%	Sin lisina sintética y suplementación en dietas de proteína alta (40% de PC)
Tilapia	Hasta el 82%	Con suplementación de lisina y triptofano sintéticos en dietas de bajo contenido de proteína (28% de PC)

Bibliografía

- Abdelghany, A.E. 2003. Partial and complete replacement of fish meal with gambusia meal in diets for red tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*. *Aquaculture Nutrition* 9:145-154.
- Abo-State, H.A., A.M. Tahoun, and Y.A. Hammouda. 2009. Effect of replacement of soybean meal by DDGS combined with commercial phytase on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings growth performance and feed utilization. *American-Eurasian J. Ag. And Env. Sci.* 5:473-479.
- Anderson, P.V., B. J. Kerr, T. E. Weber, C. Z. Ziemer, and G. C. Shurson. 2012. Determination and prediction of energy from chemical analysis of corn co-products fed to finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:1242-1254.
- Cheng, Z.J., R.W. Hardy, and M. Blair. 2003. Effects of supplementing methionine hydroxyl analogue in soybean meal and distiller's dried grain-based diets on the performance and nutrient retention of rainbow trout [*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)]. *Aquaculture Research* 34:1303-1310.
- Cheng, Z.J. and R.H. Hardy. 2004a. Effects of microbial phytase supplementation in corn distiller's dried grains with solubles on nutrient digestibility and growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J. Appl. Aquacult.* 15:83-100.
- Cheng, Z.J. and R.W. Hardy. 2004b. Nutritional value of diets containing distiller's dried grain with solubles for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J. Appl. Aquacult.* 15:101-113.
- Chevanan, N., K.A. Rosentrater, and K. Muthukumarappan. 2007. Twin screw extrusion processing of feed blends containing distillers dried grains with solubles. *Cereal Chemistry* 84:428-436.
- Chevanan, N., K. Muthukumarappan, and K.A. Rosentrater. 2009. Extrusion studies of aquaculture feed using dried distillers grains with solubles and whey. *Food and Bioprocess Technology* 2:177-185.
- Coyle, S., T. Najeeullah, and J. Tidwell. 1996. A preliminary evaluation of naturally occurring organisms, distiller by-products, and prepared diets as food for juvenile freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *J. Appl. Aquacult.* 6:57-66.

- Gatlin, D.M., III, F.T. Barrows, P. Brown, K. Dabroski, T.G. Gaylord, R.W. Hardy. 2007. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture Research* 38:551-579.
- Hertrampf, J.W and F. Piedad-Pascual. 2000. Distillery by-products. In: *Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds*, pp. 115-124. Boston, MA. Kluwer Academic Publishers.
- Jauncey, K., and B. Ross. 1982. A guide to tilapia feeds and feeding. University of Stirling, Institute for Aquaculture, Stirling, UK.
- Lim, C., J.C. Garcia, M. Yildirim-Aksoy, P.H. Klesius, C.A. Shoemaker and J.J. Evans. 2007. Growth response and resistance to *Streptococcus iniae* of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, fed diets containing distiller's dried grains with soluble. *J World Aquac. Soc.* 38(2):231-237.
- Lim, C., M. Yildirim-Aksoy, and P.H. Klesius. 2009. Growth Response and Resistance to *Edwardsiella ictaluri* of Channel Catfish, *Ictalurus punctatus*, Fed Diets Containing Distiller's Dried Grains with Solubles. *J. World Aquac. Soc.* 40(2):182-193.
- Mbahinzirek, G.B., K. Dabrowski, K.J. Lee, D. El-Saidy, and E.R. Wisner. 2001. Growth, feed utilization and body composition of tilapia fed cottonseed meal-based diets in a recirculating system. *Aquaculture Nutrition* 7:189-200.
- Robinson, E.H. 1991. Improvement of cottonseed meal protein with supplemental lysine in feeds for channel catfish. *J. Appl. Aquacult.* 1 (2):1-14.
- Robinson, E.H. and M.H. Li. 2008. Replacement of soybean meal in channel catfish, *Ictalurus punctatus*, diets with cottonseed meal and distiller's dried grains with solubles. *J. World Aquac. Soc.* 39(4):521-527.
- Schaeffer, T.W. 2009. Performance of Nile tilapia and yellow perch fed diets containing distillers dried grain with soluble and extruded diet characteristics. M.S. Thesis. South Dakota State University, Brookings, SD.
- Shiau, S.Y., J.L. Chuang, and G.L. Sun. 1987. Inclusion of soybean meal in tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) diets at two protein levels. *Aquaculture* 65:251-261.
- Sklan, D., T. Prag, and I. Lupatsch. 2004. Apparent digestibility coefficients of feed ingredients and their prediction in diets for tilapia *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* (*Teleostei, Cichlidae*). *Aquaculture Research* 35:358-364.
- Spiehs, M.J., M.H. Whitney, and G.C. Shurson. 2002. Nutrient database for distiller's dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. *J. Anim. Sci.* 80:2639-2645.
- Stein, H. H., and G. C. Shurson. 2009. BOARD-INVITED REVIEW: The use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. *J Anim Sci* 87: 1292-1303.
- Stone, D.A.J., R.W. Hardy, F.T. Barrows, and Z.J. Cheng. 2005. Effects of extrusion on nutritional value of diets containing corn gluten meal and corn distiller's dried grain for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *J. Appl. Aquacult.* 17:1-20.
- Thompson, K.R., S.D. Rawles, L.S. Metts, R. Smith, A. Wimsatt, A.L. Gannam, R.G. Twibell, R.B. Johnson, Y.J. Brady, and C.D. Webster. 2008. Digestibility of dry matter, protein, lipid, and organic matter of two fish meals, two poultry by-product meals, soybean meal, and distiller's dried grains with solubles in practical diets for sunshine bass, *Morone chrysops* x *M-Saxatilis*. *J. World Aquac. Soc.* 39(3):352-363
- Tidwell, J.H., C.D. Webster, and D.H. Yancey. 1990. Evaluation of distillers grains with solubles in prepared channel catfish diets. *Transactions of the Kentucky Academy of Science* 51:135-138.
- Tidwell, J.H., C.D. Webster, J.A. Clark, and L.R. D'Abramo. 1993a. Evaluation of distillers dried grains with solubles as an ingredient in diets for pond culture of the freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *J. World Aquacult. Soc.* 24:66-70.

- Tidwell, J.H., C.D. Webster, D.H. Yancey, and L.R. D'Abramo. 1993b. Partial and total replacement of fish meal with soybean meal and distiller's by-products in diets for pond culture of the freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *Aquaculture* 118:119-130.
- Tidwell, J.H., S.D. Coyle, A. VanArnum, C. Weibel, and S. Harkins. 2000. Growth, survival, and body composition of cage cultured Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fed pelleted and unpelleted distillers grains with solubles in polyculture with freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *J. World Aquacult. Soc.* 31:627-631.
- Urriola, P.E., G.C. Shurson, and H.H. Stein. 2010. Digestibility of dietary fiber in distillers coproducts fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 88:2373-2381.
- Webster, C.D., J.H. Tidwell, and D.H. Yancey. 1991. Evaluation of distillers grains with solubles as a protein source in diets for channel catfish. *Aquaculture* 96:179-190.
- Webster, C.D., J.H. Tidwell, L.S. Goodgame, and P.B. Johnsen. 1993. Growth, body composition, and organoleptic evaluation of channel catfish fed diets containing different percentages of distiller's grains with solubles. *The Progressive Fish-Culturist* 55:95-100.
- Wilson, R.P., and W.E. Poe. 1985. Effects of feeding soybean meal with varying trypsin inhibitor activities on growth of fingerling channel catfish. *Aquaculture* 46:19-25.
- Wu, Y.V., R.R. Rosati, D.J. Sessa, and P.B. Brown. 1994. Utilization of protein-rich ethanol coproducts from corn in tilapia feed. *Journal of American Oil Chemists Society* 71:1041-1043.
- Wu, Y.V., R.R. Rosati, and P.B. Brown. 1996. Effect of diets containing various levels of protein and ethanol coproducts from corn on growth of tilapia fry. *J. Agric. Food Chem.* 44:1491-1493.
- Wu, Y.V., R.R. Rosati, and P.B. Brown. 1997. Use of corn-derived ethanol coproducts and synthetic lysine and tryptophan for growth of tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry. *J. Agric. Food Chem.* 45:2174-2177.
- Zhou, P., W. Zhang, D.A. Davis, and C. Lim. 2010. Growth response and feed utilization of juvenile hybrid catfish fed diets containing distiller's grains with solubles to replace a combination of soybean meal and corn meal. *N. Amer. J. Aquaculture* 72:298-303.