**Capítulo 6**

**Características nutricionales y valor alimenticio de las fuentes de DDG(S) altos en proteína en el alimento para animales**

# Introducción

Con excepción de los granos secos de destilería con solubles (DDGS) convencionales, se han realizado más estudios de investigación para evaluar el valor nutritivo y la respuesta de los animales al alimentarlos con fuentes de granos de destilería altos en proteína sin solubles (HP-DDG) que con cualquier otro coproducto de maíz producido por la industria de etanol estadounidense. Desafortunadamente, los HP-DDG son también la categoría más confusa de todos los coproductos de maíz en el mercado actual, debido a que se han producido y se siguen produciendo mediante una amplia variedad de tecnologías, que dan lugar a perfiles nutricionales muy diferentes entre las distintas fuentes. El término DDG “altos en proteína” se introdujo por primera vez entre 2006 y 2007, como una forma de diferenciar los nuevos coproductos de maíz que contenían de 36 a 48% de proteína cruda (PC) de las fuentes de DDGS convencionales con 27 a 30% de PC. Estos nuevos coproductos de maíz se produjeron mediante varios procesos de fraccionamiento que concentran la proteína al eliminar parte de la fibra y el aceite de maíz. Aunque los HP-DDG son una categoría de coproductos de maíz claramente distinta de los DDGS, a menudo se confunden con coproductos de proteína fermentada de maíz (CFP) que también contienen altas concentraciones de PC (>50%). No obstante, aunque algunas fuentes de coproductos de proteína fermentada de maíz tienen un contenido de PC similar comparado con algunas fuentes de HP-DDG, los procesos utilizados para producirlas resultan en un mayor contenido estimado de levadura residual (de 20 a 27%) comparado con las fuentes de HP-DDG, que es probable que contengan entre 0 y 18% de levadura residual. Desafortunadamente, tanto productores, como comercializadores e investigadores de coproductos de maíz no han descrito de forma correcta ni utilizado la terminología adecuada al comunicar información de estos coproductos en publicaciones de investigación, sitios web, presentaciones, folletos técnicos y fichas de especificaciones del producto. Por lo tanto, si el nutricionista utiliza datos de diversas referencias publicadas, se les advierte que sean conscientes de los perfiles de nutrientes tan diferentes entre las diversas fuentes de HP-DDG que se han producido y evaluado en los estudios de alimentación animal durante los 15 años previos. Póngase en contacto con el proveedor para garantizar que reciba la información más precisa.

La tecnología de proceso de fraccionamiento utilizada para producir HP-DDG ha evolucionado de manera radical desde 2005. El **cuadro 1** muestra un resumen de los estudios de alimentación publicados en animales que evalúan las fuentes de HP-DDG producidas mediante los procesos de fraccionamiento inicial más antiguos, la mayoría de las cuales ya no se utilizan en la actualidad. Todas las fuentes de HP-DDG que se producen actualmente utilizan la tecnología FST™ de ICM, Inc. Aunque los resultados de estos estudios puedan ser útiles en brindar una indicación general del valor alimenticio relativo de los HP-DDG en diferentes especies animales, no representan con precisión la composición nutricional, digestibilidad y aplicaciones en alimentación de las fuentes que algunas de las plantas de etanol de EE. UU. producen en la actualidad. Para enfatizar este punto, el **cuadro 2** muestra un resumen de los perfiles de nutrientes y coeficientes de digestibilidad de las fuentes de HP-DDG para cerdos evaluados en publicaciones recientes, comparados con el perfil de nutrientes del NRC (2012), el cual está basado en la antigua tecnología de fraccionamiento inicial y en las publicaciones mencionadas en el **cuadro 1**. Hágase notar que es mayor el valor del NRC (2012) de contenido de proteína cruda, mientras que los valores de extracto etéreo y fósforo son más bajos que las otras fuentes de HP-DDG producidas con el nuevo proceso de fraccionamiento (**cuadro 2**).

Por ejemplo, el perfil nutricional de los HP-DDG del NRC (2012) para cerdos que se muestra en el **cuadro 2**, representa las fuentes evaluadas en muchos de los estudios enumerados en el **cuadro 1**. Hágase notar que en comparación con el perfil nutricional de las fuentes de HP-DDG evaluadas en estudios recientes con las nuevas tecnologías de producción, el contenido de proteína cruda fue relativamente alto (45%), mientras que el de grasa cruda fue relativamente bajo (3.5%). Sin embargo, dada la alta variabilidad de contenido de nutrientes, valor energético y de digestibilidad de aminoácidos y fósforo, es fundamental conocer la fuente y utilizar los perfiles nutricionales específicos de dicha fuente para una formulación precisa.

|  |
| --- |
| **Cuadro 1.** Resumen de los estudios publicados que evalúan las fuentes de HP-DDG producidas mediante las tecnologías de proceso más antiguas que ya no se utilizan hoy en día |
| **Especie** | **Referencia** |
| **Cerdos** | Widmer et al. (2007, 2008) |
|  | Gutiérrez et al. (2009a,b) |
|  | Kim et al. (2009) |
|  | Jacela et al. (2010) |
|  | Seabolt et al. (2010) |
|  | Anderson et al. (2012) |
|  | Adeola y Ragland (2012) |
|  | Adeola y Ragland (2016) |
|  | Peterson et al. (2014) |
|  | Rojo et al. (2016) |
| **Aves** | Batal (2007) Kim et al. |
|  |  (2008, 2010) |
|  | Applegate et al. (2009) |
|  | Jung y Batal (2009, 2010) |
|  | Rochell et al. (2011) |
|  | Tangenjaja y Wina (2011) |
| **Acuicultura** | Barnes et al. (2012a,b) |
|  | Øverland et al. (2013) |
|  | Prachom et al. (2013) |
|  | Herath et al. (2016a,b) |
| **Vacas lecheras** | Mjoun et al. (2009) |
|  | Christen et al. (2010) |
|  | Maxin et al. (2013a,b) |
|  | Swanepoel et al. (2014) |

# Composición nutricional y digestibilidad de las fuentes actuales de HP-DDG

## Cerdos

La mayoría de los estudios publicados que han determinado la digestibilidad de la energía y aminoácidos de las fuentes de HP-DDG se han realizado en cerdos (**cuadro 2**). Debido a los diversos tipos de tecnologías de producción usados para la elaboración de HP-DDG, es altamente variable la composición entre las fuentes, con niveles de proteína cruda que van del 34 a 43%, de 1 a 1.4% de lisina (Lys) y de digestibilidad ileal estandarizada (DIE) de lisina de 47 a 76%. Además, la energía bruta (EB) puede ir de 4,813 a 5,296 kcal/kg y el contenido de energía digestible (ED) de 3,352 a 4,424 kcal/kg. Sorprendentemente, el contenido de fósforo (0.40 a 0.50%) es menos variable que las concentraciones de ED y aminoácidos entre las fuentes de HP-DDG, pero los estimados limitados de la digestibilidad estandarizada total del tubo digestivo (DETT) de fósforo son más variables, con un rango de 48 a 68% (**cuadro 2**). La DIE de los aminoácidos es también altamente variable entre las fuentes de HP-DDG, que por lo general va de 60 a 89%, excepto la lisina, en la que la DIE en la mayoría de las fuentes está entre 47 y 66%. Estos resultados indican que los fabricantes de HP-DDG necesitan determinar los valores específicos de digestibilidad de energía, aminoácidos y fósforo digestible de sus productos para diversas especies de animales, y brindar dicha información a sus clientes para optimizar el valor económico y nutricional de este ingrediente en la formulación práctica de los alimentos.

|  |
| --- |
| **Cuadro 2.** Comparación de la composición química (con base en como se alimentó), de la energía, aminoácidos y digestibilidad del fósforo de las fuentes de granos secos de destilería altos en proteína (HP-DDG), con y sin marca, para cerdos de estudios recientemente publicados |
| **Componente** | **NRC (2012)1** | **Rho et al. (2017)2** | **Rho et al. (2017)2** | **Paula et al. (2021)3** | **Paula et al. (2021)4** | **Espinosa y Stein (2018)5** | **Lee y Stein (2021)6** |
| Materia seca, % | 91.20 | 91.9 | 91.3 | 89.62 | 92.30 | 86.50 | 87.45 |
| Proteína cruda, % | 45.35 | 38.9 (61)7 | 39.4 (73) | 34.83 (62) | 42.93 (67) | 37.11 (77) | 39.05 (76) |
| Extracto etéreo, % | 3.54 | 9.27 | 8.63 | 7.80 | 10.30 | \* | 8.50\*\* |
| Extracto etéreo hidrolizado con ácido, % | \* | \* | \* | \* | \* | 7.59 | 8.46 |
| Fibra neutrodetergente, % | 33.63 | 29.4 | 28.4 | 47.48 | 37.40 | 31.87 | \* |
| Fibra ácidodetergente, % | 20.63 | 14.6 | 14.8 | 19.81 | 17.53 | 14.68 | \* |
| Fibra dietética total, % | \* | \* | \* | \* | \* | 34.20 | 37.6 |
| Fibra dietética soluble, % | \* | \* | \* | \* | \* | 2.40 | 2.2 |
| Fibra dietética insoluble, % | \* | \* | \* | \* | \* | 31.80 | 35.4 |
| Energía bruta, kcal/kg | 5,173 | 4,986 | 4,935 | 4,915 | 5,296 | 4,825 | 4,813 |
| Energía digestible, kcal/kg | 4,040 | 4,130 | 4,157 | 3,352 | 4,060 | 4,424 | 3,688 |
| Energía metabolizable, kcal/kg | 3,732 | \* | \* | 3,116 | 3,757 | 4,275 | 3,496 |
| Cenizas, % | 2.39 | 2.40 | 2.34 | 3.39 | 2.81 | 2.41 | 1.80 |
| Ca, % | 0.02 | 0.05 | 0.06 | 0.02 | 0.02 | \* | < 0.10\*\* |
| P, % | 0.36 | 0.50 | 0.47 | 0.46 | 0.48 | \* | 0.40\*\* |
| DETT de P, % | 73 | \* | \* | 68 | 48 | \* | \* |
| Mg, % | 0.09 | \* | \* | 0.18 | 0.01 | \* | \* |
| Na, % | 0.06 | \* | \* | 0.47 | 0.09 | \* | \* |
| K, % | 0.37 | \* | \* | 0.63 | 0.41 | \* | \* |
| Cu, mg/kg | 2.03 | \* | \* | 7.9 | 7.10 | \* | \* |
| Fe, mg/kg | 65.30 | \* | \* | 52.1 | 112.5 | \* | \* |
| Mn, mg/kg | 7 | \* | \* | 9 | 9.97 | \* | \* |
| Zn, mg/kg | 27.30 | \* | \* | 56.40 | 75.55 | \* | \* |
| Aminoácidos indispensables, % |  |
| Arg | 1.62 (85) | 1.64 (72) | 1.66 (79) | 1.50 (76) | 2.06 (83) | 1.63 (87) | 1.59 (84) |
| His | 1.07 (79) | 1.01 (66) | 1.04 (72) | 0.89 (66) | 1.26 (76) | 0.97 (82) | 1 (75) |
| Ile | 1.83 (80) | 1.48 (68) | 1.50 (75) | 1.46 (68) | 1.79 (76) | 1.59 (82) | 1.53 (75) |
| Leu | 6.18 (86) | 4.78 (81) | 5.01 (84) | 4.38 (72) | 5.30 (81) | 4.39 (89) | 4.92 (86) |
| Lys | 1.22 (69) | 1.19 (47) | 1.20 (56) | 1 (53) | 1.37 (66) | 1.43 (76) | 1.34 (62) |
| Met | 0.93 (86) | 0.79 (79) | 0.82 (83) | 0.54 (75) | 0.95 (82) | 0.70 (87) | 0.84 (83) |
| Phe | 2.42 (84) | 2.01 (77) | 2.07 (80) | 1.86 (72) | 2.16 (78) | 2.03 (86) | 2 (80) |
| Thr | 1.59 (75) | 1.45 (60) | 1.46 (67) | 1.32 (67) | 1.66 (76) | 1.39 (75) | 1.52 (72) |
| Trp | 0.24 (82) | - | - | 0.22 (71) | 0.23 (73) | 0.30 (80) | 0.42 (81) |
| Val | 2.12 (78) | 1.92 (69) | 1.95 (75) | 1.82 (69) | 2.37 (76) | 2.07 (81) | 1.89 (73) |
| Aminoácidos no esenciales, % |  |
| Ala | 3.32 (82) | 2.78 | 2.87 | 2.65 (72) | 3.28 (82) | 2.58 (85) | 2.83 (80) |
| Asp | 2.75 (74) | 2.62 | 2.60 | 2.72 (64) | 3.29 (73) | 2.44 (73) | 2.64 (73) |
| Cys | 0.82 (78) | 0.73 | 0.78 | 0.80 (72) | 1.09 (82) | 0.69 (75) | 0.80 (70) |
| Glu | 7.52 (83) | 6.69 | 6.92 | 6.21 (70) | 7.98 (81) | 5.61 (88) | 6.83 (82) |
| Gly | 1.39 (70) | 1.44 | 1.43 | 1.40 (73) | 1.77 (93) | 1.45 (71) | 1.38 (65) |
| Pro | 3.65 (79) | 3.29 | 3.40 | 3.08 (43) | 3.99 (55) | - | 3.26 (92) |
| Ser | 1.96 (82) | 1.89 | 1.93 | 1.74 (64) | 2.18 (79) | 1.46 (82) | 1.94 (82) |
| Tyr | 1.92 (85) | - | - | 1.45 (70) | 1.91 (79) | 1.46 (87) | 1.59 (86) |
| Aminoácidos totales | - | - | - | 34.76 (65) | 44.39 (68) | 35.11 (83) | 38.45 (80) |
| Lys:PC | 2.69 | 3.06 | 3.05 | 2.87 | 3.19 | 3.85 | 3.43 |

1Datos del National Research Council (2012) para cerdos.

2Datos de Rho et al. (2017) de dos muestras de granos secos de destilería altos en proteína producidos mediante la Fiber Separation Technology™ desarrollada por ICM, Inc., Colwich, KS, EE. UU.

3Datos de Paula et al. (2021) de granos secos de destilería altos en proteína producidos por Corn Plus Co-op (Winnebago, MN, EE. UU.) mediante la Fiber Separation Technology™ desarrollada por ICM, Inc., Colwich KS, EE. UU.

4Datos de Paula et al. (2021) de granos secos de destilería altos en proteína producidos por FS Bioenergia, Inc. (Lucas do Rio Verde, MT, Brasil) mediante la Fiber Separation Technology™ desarrollada por ICM, Inc., Colwich, KS, EE. UU.

5Datos de Espinosa y Stein (2018) de granos secos de destilería altos en proteína producidos por Lincolnway Energy (Nevada, IA, EE. UU.) mediante separación mecánica de la fibra en función de solubilidad previa a la fermentación, extracción de aceite después de la fermentación y secado por compresión a baja temperatura.

6Datos inéditos de Lee y Stein (2021) proporcionados con autorización de The Andersons, Maumee, OH., EE. UU. Granos secos de destilería altos en proteína (ANDVantage™ 40Y) producidos mediante Fiber Separation Technology™ desarrollada por ICM, Inc., Colwich, KS, EE. UU.

7Los valores entre paréntesis son coeficientes de digestibilidad ileal estandarizada del aminoácido correspondiente.

\*No se proporcionaron datos.

\*\*Valores obtenidos de las fichas de especificaciones de nutrientes del proveedor.

Como se muestra en el **cuadro 3**, los HP-DDG contienen cantidades relativamente bajas de almidón (2.3%) y altas concentraciones de fibra neutrodetergente (FND, 41.3%) así como de fibra total de la dieta (39.7%), similar a las de los DDGS convencionales. Debido a las concentraciones relativamente altas de fibra en los DDGS y HP-DDG, los nutricionistas porcinos y avícolas han evaluado la adición de diversas carbohidrasas y proteasas comerciales en las dietas de DDGS (Jang et al., 2021), las cuales podrían brindar respuestas similares en las dietas de HP-DDG con base en atributos fisicoquímicos similares como el aumento de volumen y la capacidad de retención de agua (**cuadro 3**). Boucher et al. (2021) evaluaron los efectos de añadir una mezcla enzimática de carbohidrasas múltiples (xilanasa, glucanasa, celulasa, amilasa, invertasa y proteasa) a dietas porcinas con DDGS y HP-DDG para determinar si son eficaces para mejorar el contenido de ED y EM del alimento. La fuente de HP-DDG se produjo mediante tecnología de separación mecánica (ICM, Inc., Colwich, KS, EE. UU.) para eliminar partículas grandes de fibra no fermentables antes de la fermentación para maximizar el rendimiento y la producción de etanol. Sin embargo, el perfil de nutrientes notificado para esta fuente de HP-DDG en este estudio no refleja la composición típica de los HP-DDG producidos mediante la tecnología FST de ICM, Inc., debido a un contenido menor de proteína cruda y mayor de fibra. Esto podría ejemplificar aquellos investigadores que utilizan la terminología incorrecta o confunden el proceso utilizado para producir el coproducto de maíz que evalúan. De cualquier forma, los resultados demostraron que comparado con los DDGS, esta fuente de HP-DDG tuvo alrededor del 50% menos almidón, 20% más proteína, 14% mayor capacidad de retención de agua y mayor contenido de ED (3,896 y 4,405 kcal/kg MS, respectivamente) y de EM (3,494 y 3,872 kcal/kg MS, respectivamente) para cerdos, pero tanto en la dieta de DDGS como en la HP-DDG, el complejo enzimático de carbohidrasas múltiples no mejoró los valores de ED y EM.

|  |
| --- |
| **Cuadro 3.** Características químicas y fisicoquímicas del maíz y sus coproductos (adaptado de Boucher et al., 2021) |
| **Característica** | **Maíz** | **DDGS** | **HP-DDG** | **Salvado de maíz deshidratado con solubles** |
| ***Composición química*** |
| Materia seca, % | 86.1 | 89.3 | 88.9 | 94.9 |
| Energía bruta, kcal/kg | 3,769 | 4,600 | 4,950 | 4,629 |
| Proteína cruda, % | 6.5 | 27.1 | 32.5 | 19.4 |
| Extracto etéreo, % | 2.7 | 7.6 | 9.6 | 6.8 |
| Almidón, % | 67.1 | 4.5 | 2.3 | 7.4 |
| Fibra dietética total, % | 11.2 | 36.7 | 39.7 | 37 |
| FND, % | 12.3 | 30.5 | 41.3 | 33.5 |
| FAD % | 3.2 | 7.1 | 15.1 | 7.6 |
| ***Atributos fisicoquímicos*** |
| Densidad de masa, g/L | 522 | 507 | 478 | 386 |
| Inflamación, L/kg | 2.4 | 3.5 | 3.6 | 4.4 |
| Capacidad de retención de agua, g/g | 2.1 | 2.9 | 3.3 | 2.9 |

## Aves

Fries-Craft y Bobeck (2019) determinaron la energía metabolizable aparente corregida por nitrógeno (EMAn) y la DIE de los aminoácidos de una fuente de HP-DDG para pollos de engorde (**cuadro 4**). Comparado con una fuente convencional de DDGS, los HP-DDG tuvieron mayor contenido de PC (34.1%), EMAn (2,725 kcal/kg) y de aminoácidos con coeficientes relativamente altos de DIE de los aminoácidos, desde 81% para lisina, treonina y cisteína a 90% para arginina y leucina. Los datos inéditos de ANDVantage™ 40Y (proporcionados con autorización de The Andersons) mostraron un mayor contenido de PC y aminoácidos que los notificados en el estudio de Fries-Craft, pero coeficientes similares de digestibilidad de aminoácidos (**cuadro 4**). El contenido de EMVn de ANDVantage™ 40Y fue también sustancialmente mayor que el de la fuente convencional de DDGS.

|  |
| --- |
| **Cuadro 4.** Contenido de nutrientes, energía metabolizable aparente corregida por nitrógeno (EMAn) y energía metabolizable verdadera (EMVn), y digestibilidad ileal estandarizada de los aminoácidos (con base en como se alimentó) de fuentes de granos secos de destilería altos en proteína (HP-DDG) para pollos de engorde (adaptado de Fries-Craft y Bobeck, 2019)  |
| **Componente** | **DDGS1** | **HP-DDG1** | **ANDVantage™40Y2** |
| Materia seca, % | 89.80 | 83.10 | 90 |
| Proteína cruda, % | 27.10 | 34.10 | 40.4 |
| Extracto etéreo, % | 9.63 | 7.91 | 8.50 |
| Fibra cruda, % | 7.85 | 8.35 | 8.80 |
| EMAn, kcal/kg | 2,629 | 2,725 | NN4 |
| EMVn, kcal/kg | 2,509 | NN | 3,286 |
| Arg | 1.10 | 1.49 (90)3 | 1.69 (93)3 |
| His | 0.62 | 0.88 (86) | 1.15 (88) |
| Ile | 1.15 | 1.26 (84) | 1.65 (87) |
| Leu | 2.40 | 4.32 (90) | 4.93 (94) |
| Lys | 0.70 | 1.16 (81) | 1.35 (81) |
| Met | 0.50 | 0.74 (89) | 0.80 (91) |
| Phe | 1.35 | 1.57 (88) | 2.11 (91) |
| Thr | 0.93 | 1.31 (81) | 1.56 (85) |
| Trp | 0.20 | 0.30 (82) | 0.30 (88) |
| Val | 1.40 | 1.60 (86) | 1.97 (87) |
| Ala | NN | NN (86) | NN |
| Asp | NN | NN (82) | NN |
| Cys | 0.45 | 0.58 (81) | NN |
| Glu | NN | NN (90) | NN |
| Gly | 0.60 | 1.25 (NN) | NN |
| Pro | NN | NN (82) | NN |
| Ser | 1.30 | 1.60 (87) | NN |
| Tyr | 0.80 | 1.34 (84) | NN |
| Lys:PC | 2.58 | 3.40 | 3.34 |

1Datos publicados de Fries-Craft y Bobeck (2019)

2Datos inéditos proporcionados con autorización de The Andersons, Maumee, OH, EE. UU.

3Los valores entre paréntesis son coeficientes de digestibilidad ileal estandarizada de los aminoácidos.

4NN = No se notificó

## Acuicultura

Un estudio reciente comparó las diferencias nutricionales entre HP-DDG (ANDVantage™ 40Y), harina de soya (HS) y harina de ave, así como los efectos de sustituir cantidades crecientes de harina de soya o de ave con HP-DDG en dietas de bagre de canal (Nazeer et al., 2022). El **cuadro 5** muestra la comparación de los perfiles nutricionales de estos tres ingredientes. La harina de ave tiene un contenido mayor de PC y de aminoácidos esenciales que los HP-DDG, excepto leucina. De forma similar, la harina de soya tiene mayores concentraciones de aminoácidos que los HP-DDG, excepto leucina y metionina. Por lo tanto, es probable que para sustentar el óptimo desempeño del crecimiento y composición de filetes sea necesaria la suplementación de lisina, metionina, treonina y triptófano sintéticos al sustituir parcialmente la harina de ave y harina de soya por HP-DDG en las dietas acuícolas.

|  |
| --- |
| **Cuadro 5.** Comparación de contenido de nutrientes (con base en como se alimentó) de la harina de ave, harina de soya y los granos secos de destilería altos en proteína (HP-DDG; adaptado de Nazeer et al, 2002)  |
| **Componente, %** | **Harina de ave** | **Harina de soya** | **ANDVantage™40Y2** |
| Materia seca | 91.05 | 88.52 | 90.86 |
| Proteína cruda | 64.59 | 46.66 | 42.25 |
| Extracto etéreo | 12.29 | 0.48 | 8.48 |
| Fibra cruda | - | 3.59 | 7.05 |
| Cenizas | 9.88 | 6.47 | 2.13 |
| Aminoácidos indispensables |
| Arg | 4.32 | 3.49 | 1.84 |
| His | 1.41 | 1.24 | 1.18 |
| Ile | 2.64 | 2.27 | 1.88 |
| Leu | 4.55 | 3.64 | 5.48 |
| Lys | 4.11 | 3.02 | 1.30 |
| Met | 1.22 | 0.61 | 0.86 |
| Phe | 2.57 | 2.38 | 2.34 |
| Thr | 2.55 | 1.83 | 1.58 |
| Trp | 0.60 | 0.64 | 0.34 |
| Val | 3.21 | 2.31 | 2.30 |
| Aminoácidos esenciales |
| Ala | 4.05 | 2.04 | 3.19 |
| Asp | 5.29 | 5.31 | 2.86 |
| Cys | 0.77 | 0.69 | 0.83 |
| Glu | 8.58 | 9 | 7.17 |
| Gly | 5.54 | 2 | 1.56 |
| Hidroxilisina | 0.23 | 0.02 | 0 |
| Hidroxiprolina | 1.55 | 0.11 | 0.07 |
| Pro | 3.59 | 2.21 | 3.44 |
| Ser | 2.53 | 2.26 | 1.82 |
| Taurina | 0.47 | 0.12 | 0.10 |
| Tyr | 2.15 | 1.73 | 1.79 |

# Resumen de las pruebas de alimentación con HP-DDG en cerdos

Yang et al. (2019) evaluaron el uso de valores determinados experimentalmente de EM y DIE de aminoácidos de HP-DDG (37.6%) producidos por Lincolnway Energy (Nevada, IA, EE. UU.) en dietas de lechones lactantes. Se alimentaron lechones destetados con una dieta común de fase 1 en la primera semana posterior al destete, seguido de 1 de 4 dietas con 0, 10, 20 o 30% de HP-DDG en la fase 2 (de los días 7 a 21 posteriores al destete) y fase 3 (de los días 21 a 42 posteriores al destete). Las dietas se formularon para contener concentraciones equivalentes de EM, lisina digestible, metionina, treonina, triptófano y fósforo digestible. A medida que aumentaban los niveles de HP-DDG en la dieta, aumentaron las proporciones calculadas de leucina a lisina DIE de 119 a 173% en las dietas de la fase 2 y de 120 a 160% en las de la fase 3. De forma similar, las proporciones de isoleucina a lisina DIE fueron de 60 a 69% en las dietas de la fase 2 y de 54 a 59% en las de la fase 3, mientras que las proporciones valina a lisina DIE fueron de 63 a 79% en las dietas de la fase 2 y de 64 a 68% en las de la fase 3. A medida que aumentaban las tasas de inclusión en la dieta de HP-DDG, se observó una reducción lineal en ganancia diaria promedio (GDP), consumo de alimento promedio diario (CDPA) y ganancia:alimento (G:A) durante las fases 2 y 3. Aunque los cerdos de este estudio se desafiaron con *Streptococcus suis* y *Escherichia coli*, no hubo diferencia en morbilidad entre tratamientos, pero la inclusión de HP-DDG en las dietas tendió a reducir la mortalidad comparado con las dietas control sin HP-DDG. Estos resultados indican que la disminución lineal en el desempeño del crecimiento observada al añadir niveles crecientes de esta fuente de HP-DDG en la dieta probablemente se deba a una sobreestimación del contenido de aminoácidos DIE, a los efectos antagonistas del contenido en exceso de leucina digestible en la dieta con respecto al contenido de valina e isoleucina digestibles y al creciente contenido de fibra dietética, lo cual pudo incrementar el requerimiento de treonina.

De forma similar, Cemin et al. (2019b) llevaron a cabo un estudio para determinar los efectos de alimentar niveles crecientes (0, 10, 20, 30 o 40%) de HP-DDG producidos mediante Fiber Separation Technology de ICM, Inc. en dietas de cerdos lactantes y para estimar el contenido de energía productiva de los HP-DDG. El contenido de energía neta (EN) de los HP-DDG se estimó mediante tres enfoques distintos de ecuaciones de predicción de ED. La eficiencia calórica se calculó multiplicando el CADP por las kcal de la energía neta estimada por kg de dieta y dividida por la GDP. Para el período total de alimentación de 21 días, la alimentación de dietas con niveles crecientes de HP-DDG resultó en disminuciones lineales de GDP, CADP y peso corporal final. Hubo un efecto cuadrático en alimento:ganancia (A:G) con la mejor respuesta observada al alimentar dietas con 40% de HP-DDG. Como resultado, la eficiencia calórica de los HP-DDG se reduce linealmente a medida que aumentan los niveles en la dieta y el enfoque utilizado para aplicar las ecuaciones de predicción de ED subestimó el contenido de EN de los HP-DDG. Con base en los cálculos de eficiencia calórica, la EN de esta fuente de HP-DDG se estimó cercana al 97% del valor del NRC (2012) del contenido de EN del maíz.

Se llevaron a cabo dos experimentos para determinar los efectos de la alimentación de cerdos en crecimiento-finalización con dietas de 30% de HP-DDG en programa de alimentación de 4 fases sobre el desempeño del crecimiento, características de la canal y calidad de la grasa del cerdo (Yang et al., 2020). El primer experimento utilizó una fuente HP-DDG de IGPC Ethanol, Inc. (Alymer, Ontario, Canadá) que contenía concentraciones relativamente bajas de deoxinivalenol (DON; 1.7 mg/kg), fumonisinas totales (FUM; 0.60 mg/kg) y de zearalenona (ZEA; 0.2 mg/kg). El segundo experimento evaluó una fuente de HP-DDG obtenida de ICM, Inc. (St. Joseph, MO, EE. UU.) que también contenía concentraciones relativamente bajas de DON (1 mg/kg), FUM (3.80 mg/kg) y ZEA (0.06 mg/kg). Los lineamientos para las concentraciones máximas “seguras” de DON (< 1 mg/kg), FUM (5 mg/kg) y ZEA (< 1 mg/kg) indicaron que no se esperarían efectos negativos en el desempeño del crecimiento al añadir niveles del 30% de HP-DDG del total de la dieta. Los resultados del experimento 1 mostraron que la alimentación de dietas con 30% de HP-DDG con bajas concentraciones de DON, FUM y ZEA, redujo la GDP y el CADP durante las primeras 8 semanas de la prueba de alimentación de 16 semanas, en comparación con las dietas control de harina de soya y maíz. Para determinar si dicha reducción en la tasa de crecimiento y consumo de alimento se debió al exceso de leucina en las dietas HP-DDG o a las bajas concentraciones de micotoxinas, se añadió tanto a la dieta control como a la de 30% de HP-DDG, un producto comercial atenuante de micotoxinas para la mitad de los cerdos del estudio, mientras que a la otra mitad se les siguió alimentando sin este compuesto durante las 8 semanas restantes del período de 16. La adición del mitigante de micotoxinas en las dietas fue eficaz en restaurar el desempeño del crecimiento de los cerdos alimentados con las dietas HP-DDG hasta ser comparable con los alimentados con la dieta control. Estos resultados indican que la reducción en el desempeño del crecimiento durante las primeras 8 semanas del período de alimentación fue consecuencia de los efectos negativos aditivos de las bajas concentraciones de DON, FUM y ZEA, y no por el exceso de leucina en las dietas.

En el segundo experimento, se añadió a las dietas un producto atenuante de micotoxinas al comienzo del período de alimentación. Los resultados mostraron que durante el periodo de alimentación de 16 semanas, los cerdos alimentados con 30% de HP-DDG en la dieta presentaron una menor GDP, peso corporal final, CADP y G:A (**cuadro 6**). Además, la alimentación de dietas con 30% HP-DDG resultó en un menor peso de la canal en caliente, rendimiento de la canal, área del músculo del lomo y porcentaje de la canal magra, pero no afectó el grosor de la grasa dorsal en comparación con alimentados con la dieta control (**cuadro 6**). Los cerdos alimentados con dietas HP-DDG también tuvieron un mayor contenido de ácidos grasos poliinsaturados e índice de yodo de la grasa del cerdo que los alimentados con dietas control de harina de soya y maíz, lo cual indica que la grasa de la canal fue menos firme con las dietas HP-DDG. Estos resultados indican que 1) las bajas concentraciones de micotoxinas en las dietas con HP-DDG contaminados reducen el desempeño del crecimiento, aunque los aditivos atenuantes eficaces alivian dichos efectos negativos, 2) el exceso de leucina en las dietas de 30% HP-DDG interfiere con la utilización de isoleucina y valina, lo cual resulta en un consumo de alimento, crecimiento, eficiencia de la ganancia y canal magra subóptimos y 3) el alto contenido de ácidos grasos insaturados del aceite de maíz presente en los HP-DDG utilizados al 30% de inclusión en la dieta disminuye la firmeza de la grasa de la canal.

|  |
| --- |
| **Cuadro 6.** Desempeño del crecimiento y características de la canal de cerdos en crecimiento-finalización alimentados con dietas con 30% de granos secos de destilería altos en proteína (HP-DDG) con un agente atenuante de micotoxinas (adaptado de Yang et al., 2020)  |
| **Medición** | **Control** | **30% HP-DDG + agente atenuante** |
| Peso corporal inicial, kg | 22.75 | 22.74 |
| Peso corporal final, kg | 133.37a | 126.58b |
| GDP, kg | 1.01a | 0.95b |
| CADP, kg | 2.63a | 2.57b |
| G:A | 0.41a | 0.39b |
| **Características de la canal** | **Cerda primípara** | **Cerdo castrado** | **Cerda primípara** | **Cerdo castrado** |
| Peso de la canal en caliente1, kg | 98.34 | 98.16 | 96.07 | 95.86 |
| Rendimiento de la canal1, % | 75.55 | 75.33 | 74.04 | 73.78 |
| Profundidad de la grasa dorsal2, mm | 19.75 | 23.45 | 20.72 | 23.22 |
| Área del músculo del lomo1,2,3, cm | 49.26 | 44.91 | 42.58 | 43.71 |
| Magro, sin grasa1,2,3, % | 52.40 | 49.38 | 50.10 | 49.04 |

a, b Medias dentro del mismo renglón con distintos superíndices son diferentes (P < 0.05).

1Efecto de la dieta (P < 0.01).

2 Efecto del sexo (P < 0.05).

3 Interacción dieta × sexo (P < 0.01).

El estudio más reciente que evalúa dietas con niveles crecientes de HP-DDG fue llevado a cabo por Rao et al. (2021). Se compararon las respuestas de desempeño del crecimiento y la composición de la canal entre cerdos en crecimiento-finalización alimentados con niveles crecientes (0, 15 y 30%) de DDGS convencionales o HP-DDG (ICM, Inc.). Todas las dietas se formularon para contener un contenido similar de lisina digestible, pero diferentes niveles de EN. Se ajustaron las relaciones de aminoácidos de cadena ramificada con base en la ecuación de Cemin et al. (2019) para tomar en cuenta el exceso de leucina en las dietas de DDGS y HP-DDG. Se calculó la eficiencia calórica al dividir el consumo estimado de EN entre ganancia de peso (Cemin et al., 2020). Los resultados demostraron que aumentar la tasa de inclusión de DDGS convencionales disminuyó significativamente el peso corporal final de manera lineal, mientras que el incremento de tasas de inclusión de HP-DDG en la dieta tendió a disminuir el peso corporal final (**cuadro 7**). Estas disminuciones de peso corporal final fueron el resultado de disminuciones lineales en GDP durante la fase de engorde al alimentar cantidades crecientes tanto de DDGS como de HP-DDG . Los cerdos alimentados con la dieta HP-DDG tuvieron un mayor CADP y G:A que los alimentados con DDGS. A medida que aumentaban las tasas de inclusión de DDGS y HP-DDG en la dieta, disminuyeron linealmente el peso de la canal en caliente y el rendimiento de la canal. El índice de yodo se calculó como un estimado de la proporción de ácidos grasos insaturados a saturados en la grasa de la canal, la cual aumentó linealmente al aumentar las cantidades de DDGS y HP-DDG. Estos resultados indican que los cerdos alimentados con niveles comparables de HP-DDG y DDGS en la dieta tuvieron una GDP similar, pero los alimentados con dietas de HP-DDG tuvieron mayor eficiencia de la ganancia. Es probable que el mayor índice de yodo de la grasa de la canal de los cerdos alimentados con las dietas HP-DDG sea el resultado del mayor contenido de aceite de maíz en los HP-DDG (10.27% de extracto etéreo) comparado con el de los DDGS convencionales (8.03%).

|  |
| --- |
| **Cuadro 7.** Comparación de desempeño del crecimiento, eficiencia calórica y características de la canal de cerdos en crecimiento-finalización alimentados con niveles crecientes de DDGS convencionales y HP-DDG (adaptado de Rao et al., 2021) |
| **Medición** | **Control (0%)** | **DDGS** | **HP-DDG** |
| **15%** | **30%** | **15%** | **30%** |
| Peso corporal inicial, kg | 27.1 | 27.1 | 27.1 | 27.1 | 27.1 |
| Peso corporal final, kg | 130 | 127.3 | 127.8 | 129 | 128 |
| ***Fase de engorde***  |
| GDP, g | 893 | 879 | 862 | 875 | 852 |
| CADP, g | 1,870 | 1,840 | 1,828 | 1,825 | 1,721 |
| G:A, g/kg | 479 | 479 | 472 | 480 | 497 |
| Eficiencia calórica, kcal/kg | 5,395 | 5,317 | 5,322 | 5,420 | 5,300 |
| ***Fase de finalización*** |
| GDP, g | 855 | 833 | 864 | 860 | 870 |
| CADP, g | 2,609 | 2,604 | 2,644 | 2,555 | 2,510 |
| G:A, g/kg | 328 | 321 | 327 | 336 | 347 |
| Eficiencia calórica, kcal/kg | 8,040 | 8,136 | 7,890 | 7,937 | 7,743 |
| ***General*** |
| GDP, g | 876 | 857 | 865 | 870 | 863 |
| CADP, g | 2,262 | 2,243 | 2,259 | 2,212 | 2,139 |
| G:A, g/kg | 388 | 382 | 384 | 394 | 404 |
| Eficiencia calórica, kcal/kg | 6,747 | 6,758 | 6,655 | 6,699 | 6,586 |
| ***Características de la canal*** |
| Peso de la canal en caliente, kg | 94.9 | 92.5 | 92.1 | 94 | 92 |
| Rendimiento de la canal, % | 73.1 | 72.6 | 72.1 | 72.9 | 71.9 |
| Profundidad de la grasa dorsal, mm | 15.9 | 15.5 | 15.9 | 15.8 | 15.6 |
| Profundidad del lomo, mm | 67 | 67 | 66.9 | 67.3 | 66.7 |
| Magrez, % | 57.2 | 57.5 | 57.2 | 57.3 | 57.4 |
| Índice de yodo, g/100 g | 64.8 | 69 | 73.7 | 72.9 | 80 |

# Resumen de las pruebas de alimentación con HP-DDG en pollo de engorde

Fries-Craft y Bobeck (2019) determinaron el contenido de EMAn, digestibilidad de aminoácidos DIE y desempeño del crecimiento (42 días) de pollos de engorde alimentados con una fuente no especificada de HP-DDGS (34% PC). Se determinó un contenido de EMAn de 2,725 kcal/kg y la DIE de los aminoácidos esenciales fue de 81% (Lys) a 90% de arginina (Arg) y Leu. La alimentación de dietas que contienen 15 y 20% de HP-DDGS resultó en una reducción de la ganancia de peso corporal y conversión alimenticia, pero no tuvo efecto sobre el consumo de alimento, comparado con la alimentación de dietas con 10% de HP-DDGS (**cuadro 8**). Los resultados de este estudio indican que es posible incluir hasta 10% de esta fuente de HP-DDGS en las dietas de pollos de engorde sin efectos negativos sobre el desempeño del crecimiento y sin necesidad de Lys y Arg suplementarias.

|  |
| --- |
| **Cuadro 8.** Comparación del desempeño del crecimiento de pollos de engorde Cobb 500 alimentados con dietas que contenían 5% de DDGS convencionales y concentraciones crecientes HP-DDGS durante 42 días (adaptado de Fries-Craft y Bobeck, 2019) |
| **Medición** | **5% DDGS** | **10% HP-DDGS** | **15% HP-DDGS** | **20% HP-DDGS** |
| Peso corporal inicial, g | 37.93 | 37.74 | 37.40 | 37.48 |
| **Inicial (día 0 al 14)** |
| Peso corporal al día 14, kg | 0.39a | 0.39a | 0.35b | 0.37a |
| Ganancia de peso corporal, kg | 0.34a | 0.35a | 0.31b | 0.34a |
| Consumo de alimento, kg | 0.51ab | 0.53a | 0.51b | 0.53a |
| Alimento:Ganancia | 1.49c | 1.51c | 1.63a | 1.58b |
| **Crecimiento (día 14 al 35)** |
| Peso corporal al día 35, kg | 1.99ab | 2.02a | 1.91c | 1.93bc |
| Ganancia de peso corporal, kg | 1.61ab | 1.64a | 1.56b | 1.55b |
| Consumo de alimento, kg | 2.66ab | 2.74a | 2.63b | 2.70ab |
| Alimento:Ganancia | 1.66c | 1.67bc | 1.69b | 1.76a |
| **Finalización (día 35 al 42)** |
| Peso corporal al día 42, kg | 2.70a | 2.72a | 2.56b | 2.58b |
| Ganancia de peso corporal, kg | 0.70a | 0.70ab | 0.65b | 0.65b |
| Consumo de alimento, kg | 1.30a | 1.29ab | 1.24b | 1.26ab |
| Alimento:Ganancia | 1.86 | 1.86 | 1.91 | 1.94 |
| **General (día 0 al 42)** |
| Ganancia de peso corporal, kg | 2.65a | 2.68a | 2.52b | 2.54b |
| Consumo de alimento, kg | 4.47ab | 4.55a | 4.38b | 4.49ab |
| Alimento:Ganancia | 1.69c | 1.70c | 1.74b | 1.77a |

a,b,c Los promedios en el mismo renglón con distintos superíndices son diferentes (P < 0.05).

Hussain et al. (2019) evaluaron dietas que contenían 6.4% de HP-DDGS (43% PC de una fuente no especificada de EE. UU.) y la adición de proteasa, una combinación de mananasa y xilanasa y una combinación de las tres enzimas en el desempeño de crecimiento, digestibilidad de nutrientes y morfología intestinal de pollos de engorde. No hubo efectos por la suplementación de enzimas en la ganancia de peso corporal, consumo de alimento, conversión alimenticia, características de la canal, peso de órganos, morfología intestinal ni en la digestibilidad de energía y aminoácidos. Estos resultados indican que las carbohidrasas y proteasa evaluadas en este estudio no fueron eficaces en mejorar el desempeño del crecimiento, digestibilidad de nutrientes y la morfología intestinal del pollos de engorde.

# Resumen de las pruebas de alimentación de HP-DDG en gallinas de postura

Foley et al. (2022) evaluaron los efectos de alimentar dietas con dos nuevas fuentes de HP-DDG producidas mediante la tecnología de separación de fibra de ICM, Inc. que contenían 40.3% PC (FST1) y 39.1% de PC (FST2) en el consumo de alimento, producción de huevos y contenido de EMA en gallinas de postura White Leghorn de la semana 21 a la 45 de edad. Los tratamientos de la dieta consistieron en una dieta control de harina de soya y maíz sin HP-DDG y dietas que contenían 5, 10 o 15% FST1 o FST2. Se encontraron interacciones de tiempo x tratamiento de la dieta en producción de huevo, calificación del color de la yema y resistencia a la ruptura de la cáscara de huevo. En las últimas semanas del estudio la producción de huevo mejoró en las gallinas alimentadas con la dieta 15% de HP-DDG de ambas fuentes. La calificación del color de la yema aumentó conforme lo hizo el nivel de HP-DDG en la dieta, pero con el tiempo disminuyó sin importar el tratamiento. La resistencia a la ruptura de la cáscara de huevo fue mayor en las gallinas alimentadas con las dietas control y 15% FST2, pero ni la fuente ni el nivel de HP-DDG afectaron el consumo de alimento, peso del huevo o peso corporal de la gallina. El contenido de EMA de los grupos de tratamiento 5% FST1 y 10% FST2 y de todas las gallinas alimentadas con las dietas HP-DDG se compara con el de la dieta control. En resumen, es posible alimentar gallinas de postura con dietas de hasta el 15% de HP-DDG producidos mediante la tecnología de separación de fibra de ICM, Inc. sin efectos perjudiciales en el consumo de alimento o producción de huevo y sí con algunas mejoras en el color de la yema y producción de huevo durante las últimas etapas del ciclo de postura.

# Resumen de las pruebas de alimentación de HP-DDG en acuicultura

## Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*)

Herath et al. (2016a) determinaron los efectos de la sustitución total de la harina de pescado (21.8%) con CPC (19.4%), HP-DDG (33.2%), harina de gluten de maíz (CGM; 23.5%), o DDGS (52.4%) en dietas isonitrogenadas en el desempeño del crecimiento y composición corporal de juveniles (4.5 g de peso corporal inicial) de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) en un estudio de alimentación de 12 semanas. Los peces alimentados con la dieta control con 21.8% de harina de pescado y la dieta con 52.4% de DDGS presentaron la mayor tasa de crecimiento específica, consumo de alimento, retención de proteína y supervivencia de todos los tratamientos (**cuadro 9**). En contraste, los peces alimentados con las dietas de CGM y CPC presentaron las tasas más bajas de crecimiento, coeficiente térmico de crecimiento, consumo de alimento, retención de proteína y supervivencia. Los peces alimentados con la dieta HP-DDG tuvieron menores tasas de crecimiento específico y coeficiente térmico de crecimiento, pero comparable en consumo de alimento y retención de proteína que los alimentados con las dietas control y de DDGS. Además, la alimentación con la dieta HP-DDG resultó en mayor peso corporal total y contenido de proteína en filete que los alimentados con las dietas control y de DDGS, junto con mayor contenido de lípidos que los alimentados con la dieta control (**cuadro 9**). Sin embargo, no se observaron diferencias en ninguno de los índices corporales medidos. Los resultados de este estudio indican que sustituir por completo la harina de pescado con distintos coproductos de maíz en las dietas de juveniles de tilapia del Nilo, resulta en diferentes efectos sobre el desempeño del crecimiento y la composición corporal total y de filetes. Entre los coproductos de maíz evaluados, las dietas con DDGS proporcionaron las mejores respuestas al desempeño del crecimiento y composición, mientras que la dieta HP-DDG resultó en el mayor desempeño del crecimiento y composición corporal y de proteína de los filetes que las dietas con CGM y CPC sin harina de pescado.

|  |
| --- |
| **Cuadro 9.** Comparación del desempeño del crecimiento, índices corporales y color de los filetes de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentada con dietas de coproductos de maíz durante 12 semanas (adaptado de Herath et al., 2016a) |
| **Medición** | **Control** | **HP-DDG1** | **DDGS2** | **CGM3** | **CPC4** |
| ***Desempeño del crecimiento*** |
| Tasa de crecimiento específico, % | 3.56a | 3.30b | 3.53a | 2.75c | 2.63d |
| Coeficiente de crecimiento térmico | 1.21a | 1.06c | 1.16b | 0.81d | 0.76e |
| Consumo de alimento, g peso seco | 84.05a | 71.05a | 81.20a | 40.2b | 38.80b |
| Conversión alimenticia | 1 | 1.05 | 1.05 | 1 | 1.10 |
| Tasa de eficiencia proteica | 3.20 | 2.99 | 3.06 | 3.10 | 2.84 |
| Retención de proteína, % | 49.62a | 46.17ab | 46.70ab | 42.02bc | 38.42c |
| Supervivencia, % | 100a | 80.6bc | 97.2ab | 66.6c | 75c |
| ***Composición corporal total, % base húmeda*** |
| Humedad | 69.4 | 68.9 | 69.7 | 70.9 | 71.6 |
| Proteína | 15.5b | 16.7a | 15.4b | 14.6c | 13.9d |
| Lípidos | 8.5b | 9.9a | 10a | 9.8a | 9.6a |
| Cenizas | 6.9a | 5.4c | 5.7b | 4e | 5d |
| ***Composición de filetes, % base húmeda*** |
| Humedad | 78.2 | 76.2 | 77.2 | 77.9 | 78.5 |
| Proteína | 18.8b | 19.8a | 18.3b | 19.2b | 18.7b |
| Lípidos | 1.6c | 2.4b | 3.1a | 2.2b | 1.9bc |
| Cenizas | 1.4 | 1.2 | 1.3 | 1.3 | 1.4 |
| ***Índices corporales*** |
| Índice viscerosomático5 | 10.8 | 11.6 | 12.9 | 12.1 | 12.8 |
| Índice hepatosomático6 | 3 | 2.1 | 2.7 | 2.2 | 2 |
| Rendimiento de filetes7, % | 30.4 | 30.8 | 32.4 | 31.9 | 28.3 |
| Coeficiente de condición8 | 2 | 2 | 2 | 1.8 | 1.9 |

a,b,c,d,eLos promedios dentro del mismo renglón con diferentes superíndices son diferentes (P < 0.05).

1HP-DDG = granos secos de destilería altos en proteína.

2DDGS = granos secos de destilería con solubles.

3CGM = harina de gluten de maíz

4CPC = concentrado de proteína de maíz.

5Índice viscerosomático = 100 × peso visceral (g)/peso corporal (g).

6Índice hepatosomático = 100 × peso del hígado (g)/peso corporal (g).

7Rendimiento de filetes = 100 × peso del filete (g)/peso corporal (g).

8Coeficiente de condición = 100 × peso corporal (g)/longitud total (cm3).

En un estudio comparativo posterior a un plazo más largo, Herath et al. (2016b) evaluaron los efectos de alimentar dietas a base de coproductos de maíz en el desempeño del crecimiento, color y composición del filete de tilapias del Nilo (*Oreochromis niloticus*) durante un período de alimentación de 24 semanas. En este estudio, las dietas consistieron en una dieta control con 10% de harina de pescado y otras cuatro dietas sin harina de pescado, pero con HP-DDG (33.2%), DDGS (52.4%), harina de gluten de maíz (23.5%) o CPC (19.4%) para sustituir el 50% de la proteína en la dieta. Los peces (con un peso corporal inicial = 21 g) alimentados con las dietas control, HP-DDG y DDGS tuvieron mayores promedios de ganancia de peso, tasa de crecimiento específica, consumo promedio de alimento, tasa de eficiencia de la proteína y mejor conversión alimenticia y supervivencia, que los alimentados con las dietas de harina de gluten de maíz y CPC (**cuadro 10**). Sin embargo, los coproductos de maíz no afectaron la luminosidad, enrojecimiento, amarillamiento, proteína cruda y contenido de aminoácidos totales de los filetes. Los peces alimentados con la dieta harina de gluten de maíz tuvieron el mayor contenido de lípidos y cenizas en los filetes, mientras que la composición de ácidos grasos varió entre los tratamientos de la dieta. Los resultados de este estudio indican que la adición de HP-DDG o DDGS a las dietas sin harina de pescado a niveles de hasta el 50% de la proteína en la dieta no presentó efectos negativos sobre el desempeño del crecimiento o el color del filete, pero la alimentación de dietas con harina de gluten de maíz y CPC con esas tasas de inclusión fueron perjudiciales para el desempeño del crecimiento.

|  |
| --- |
| **Cuadro 10.** Comparación del desempeño del crecimiento, índices corporales y composición y color de los filetes de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentados con dietas con granos secos de destilería altos en proteína (HP-DDG), granos secos de destilería con solubles (DDGS), harina de gluten de maíz (CGM) y concentrado de proteína de maíz (CPC) durante un período de alimentación de 24 semanas (adaptado de Herath et al., 2016b) |
| **Medición** | **Control** | **HP-DDG** | **DDGS** | **CGM** | **CPC** |
| ***Desempeño del crecimiento*** |
| Ganancia de peso promedio, g | 162a | 161a | 161a | 88b | 75b |
| Tasa de crecimiento específico, % | 1.27a | 1.26a | 1.27a | 0.96b | 0.90b |
| Consumo promedio de alimento, g/pez | 216a | 222a | 226a | 149b | 124b |
| Conversión alimenticia | 1.33b | 1.38b | 1.40b | 1.72a | 1.66a |
| Tasa de eficiencia proteica | 2.31a | 2.12a | 2.30a | 1.69b | 1.68b |
| Supervivencia, % | 97.2a | 97.2a | 97.2a | 91.7a | 52.7b |
| ***Índices corporales*** |
| Tasa de grasa intraperitoneal | 1.88 | 2.22 | 1.50 | 2.02 | 1.34 |
| Índice hepatosomático | 2.70b | 2.70b | 1.93c | 3.45a | 2.30bc |
| Índice viscerosomático | 9.33 | 10.92 | 9.44 | 11.62 | 11.50 |
| Rendimiento de filetes | 28.16 | 27.52 | 27.34 | 27.14 | 26.37 |
| Factor de condición | 2.01a | 1.83c | 1.89bc | 1.94b | 1.87bc |
| ***Composición de filetes*** |
| Humedad, % | 77.85 | 77.60 | 77.35 | 77.30 | 77.70 |
| Proteína cruda, % | 19.60 | 19.60 | 19.65 | 19.40 | 19.35 |
| Lípidos crudos, % | 1.80b | 2.05ab | 2.20ab | 2.35a | 2.05ab |
| Cenizas, % | 1.30b | 1.30b | 1.26b | 1.60a | 1.50ab |
| ***Valores de color triestímulo de los filetes*** |
| L\* | 47.8 | 48 | 47.8 | 41.5 | 41.8 |
| a\* | 1.3 | 0.7 | 1.2 | 1.8 | 2.3 |
| b\* | 3.2 | 2.3 | 2.3 | 1.3 | 2.2 |
| Croma1 | 3.5 | 2.4 | 2.7 | 1.9 | 3.3 |
| Ángulo de tono2, grados | 67.5 | 74 | 54.5 | 53.6 | 43.3 |
| ∆E3  | 0 | 1.11 | 0.97 | 6.61 | 6.22 |

a.b.c Los promedios dentro del mismo renglón con distintos superíndices son diferentes (P < 0.05)

1Croma = intensidad del color

2Ángulo de tono = 0° para enrojecimiento y 90° para amarillamiento.

3∆E = diferencia de color total comparada con el color.

## Bagre estriado (*Pangasianodon hypophthalmus*)

Se añadió un coproducto HP-DDG con 40% de proteína cruda, 3.1% de extracto etéreo, 28.1% de fibra cruda y 2.4% de cenizas a dietas isonitrogenadas, isolipídicas e isocalóricas de bagre estriado (*Pangasianodon hypophthalmus*) en niveles crecientes (0, 5.8, 11.6 y 17.4%) para sustituir parcialmente la harina de pescado y evaluar el desempeño del crecimiento y los beneficios económicos (Allam et al., 2020). La sustitución del 25% de la harina de pescado por HP-DDG (5.8% del total de la dieta) resultó en una tasa de crecimiento y conversión alimenticia aceptables, pero la sustitución de mayores cantidades las disminuyó linealmente. Además, se redujo el contenido de proteína corporal total y el contenido de lípidos aumentó con la mayor tasa de inclusión en la dieta de HP-DDGS. Es probable que los efectos negativos de la adición de HP-DDG a 11.6 y 17.4% en el desempeño del crecimiento y composición corporal se deba a cantidades inadecuadas de lisina, metionina y otros aminoácidos esenciales, los cuales pueden corregirse con cantidades adecuadas de aminoácidos cristalinos suplementarios.

## Bagre de canal (*Ictalurus punctatus*)

Tidwell et al. (2017) evaluaron un coproducto HP-DDG para determinar los efectos de niveles crecientes en la dieta (0, 20, 40 y 40% + lisina cristalina) en las características del pélet y el desempeño del crecimiento de juveniles de bagre de canal (*Ictalurus punctatus*). El peso promedio en la recolección de los peces alimentados con la dieta de 20% de HP-DDG fue mayor (86.8 g) que el de los alimentados con 40% de HP-DDG (57 g) y 40% de HP-DDG + lisina suplementaria (73.7 g), pero no hubo diferencias en la conversión alimenticia o supervivencia entre los tratamientos. La concentración de proteína corporal total fue mayor en los peces alimentados con la dieta control, comparado con los alimentados con 40% de HP-DDG con y sin lisina suplementaria, pero no afectó el contenido de humedad, lípidos y cenizas. Los niveles crecientes de HP-DDG en la dieta resultaron en una disminución del coeficiente de expansión del pélet, tendieron a aumentar la densidad de la unidad y el índice de durabilidad del pélet. Estos resultados indican que es necesario suplementar lisina y tal vez otros aminoácidos esenciales en las dietas con HP-DDG a tasas de inclusión mayores a 20% para sustentar el óptimo desempeño del crecimiento y la composición del filete. No obstante, es posible lograr una producción de pélets con un alto índice de durabilidad con altas tasas de inclusión en la dieta de HP-DDG.

Un estudio reciente comparó los efectos de añadir niveles crecientes de HP-DDG (ANDVantage™ 40Y) en la dieta para sustituir parcialmente la harina de ave o la de soya en las dietas de juveniles de bagre de canal (Nazeer et al., 2022). Se formularon dietas isonitrogenadas (32% de PC) e isolipídicas (6.5% de lípidos) para contener 0, 3.1, 6.2 y 9.3% de HP-DDG para sustituir 6, 4, 2 y 0% de harina de ave, respectivamente, así como 5, 10, 15, 20, 30 y 40% de HP-DDG para sustituir 51, 46.5, 41.9, 37.4, 28.2 y 19.2% de harina de soya, respectivamente. En la primera prueba, todas las dietas se peletizaron y se alimentaron a juveniles de bagre de canal (*Ictalurus punctatus*; peso inicial promedio de 1.8 g). Se llevó a cabo una segunda prueba para confirmar las respuestas de bajo consumo de alimento de los peces alimentados con la dieta 9.3% de HP-DDG en sustitución de la harina de ave en dos tasas de alimentación. Hubo una interacción significativa entre el nivel de inclusión en la dieta de los HP-DDG y la fuente de proteína sustituida (harina de ave o de soya). Cuando los niveles crecientes de HP-DDG sustituyeron cantidades crecientes de harina de ave en las dietas, se redujeron el crecimiento, consumo de alimento, conversión alimenticia y retención de proteína neta, en especial con la dieta de 9.3% de HP-DDG (**cuadro 11**). No obstante, no hubo diferencias entre los niveles de HP-DDG en la dieta en la supervivencia y humedad corporal total, contenido de proteína cruda, lípidos crudos y de cenizas (**cuadro 11**). Sin embargo, cuando se añadieron niveles crecientes de HP-DDG para sustituir parte de la harina de soya en la dieta, no hubo diferencias en el desempeño del crecimiento entre tratamientos, excepto para las dietas de 30 y 40% (**cuadro 12**). Nuevamente, la tasa de inclusión en la dieta de HP-DDG no afectó la supervivencia del pez ni la humedad corporal total, el contenido de proteína cruda, lípidos crudos y de cenizas (**cuadro 12**). Los resultados de este estudio indican que los HP-DDG son una buena fuente de proteína en las dietas de bagre de canal, pero se debe limitar a no más de 20% de la dieta cuando se sustituye parcialmente a la harina de soya para evitar reducciones en el desempeño del crecimiento. Sin embargo, cuando se utilizaron los HP-DDG (9.3%) para sustituir por completo a la harina de ave, resultó en un mal desempeño del crecimiento, probablemente debido a una deficiencia nutricional.

|  |
| --- |
| **Cuadro 11.** Comparación del desempeño del crecimiento y composición corporal total del bagre de canal alimentado con dietas con cantidades crecientes de granos secos de destilería altos en proteína (HP-DDG; ANDVantage™ 40Y) para sustituir parcialmente a la harina de ave durante un período de alimentación de 10 semanas (adaptado de Nazeer et al., 2022) |
| **Medición** | **Control** | **3.1% HP-DDG** | **6.2% HP-DDG** | **9.3% HP-DDG** |
| ***Desempeño del crecimiento*** |
| Biomasa final, g | 479a | 445ab | 411b | 351c |
| Peso final, g/pez | 24.26a | 22.25ab | 21.40b | 18.02c |
| Ganancia de peso, g/pez | 22.41a | 20.50ab | 19.62b | 16.18c |
| Ganancia de peso, % | 1,215a | 1,169a | 1,103a | 882b |
| Alimento seco total, g/pez | 24.35a | 23.27a | 23.52a | 20.50b |
| Conversión alimenticia | 1.09c | 1.14bc | 1.20ab | 1.27a |
| Supervivencia, % | 98.75 | 100 | 96.25 | 97.50 |
| Retención de proteína neta, % | 42.85a | 40.43ab | 38.47ab | 33.90b |
| ***Composición corporal total, %*** |
| Humedad | 72.15 | 72.15 | 73.12 | 75.13 |
| Proteína cruda | 14.65 | 14.40 | 14.40 | 13.80 |
| Lípidos crudos | 8.98 | 9.16 | 8.42 | 7.78 |
| Cenizas | 2.64 | 3.17 | 2.89 | 2.49 |

a.b.c Los promedios dentro del mismo renglón con distintos superíndices son diferentes (P < 0.05)

|  |
| --- |
| **Cuadro 12.** Comparación del desempeño del crecimiento y composición corporal total del bagre de canal alimentado con dietas con cantidades crecientes de granos secos de destilería altos en proteína (HP-DDG; ANDVantage™ 40Y), para sustituir parcialmente a la harina de soya durante un período de alimentación de 10 semanas (adaptado de Nazeer et al., 2022) |
| **Medición** | **Tasa de inclusión de HP-DDG en la dieta, %** |
| **0** | **5** | **10** | **15** | **20** | **30** | **40** |
| ***Desempeño del crecimiento*** |
| Biomasa final, g | 479a | 493a | 504a | 512a | 507a | 403b | 253c |
| Peso final, g/pez | 24.26a | 24.64a | 25.18a | 25.92a | 26.00a | 20.15b | 12.65c |
| Ganancia de peso, g/pez | 22.41a | 22.85a | 23.33a | 24.13a | 24.19a | 18.35b | 10.88c |
| Ganancia de peso, % | 1,215a | 1,277a | 1,263a | 1,349a | 1,340a | 1,020b | 613c |
| Alimento seco total, g/pez | 24.35a | 24.24bc | 24.83ab | 25.30ab | 25.65a | 23.32c | 18.30d |
| Conversión alimenticia | 1.09c | 1.06c | 1.07c | 1.05c | 1.06c | 1.27b | 1.68a |
| Supervivencia, % | 98.75 | 100 | 100 | 98.75 | 100 | 100 | 100 |
| Retención de proteína neta, % | 42.85a | 42.11ab | 44.82a | 43.78a | 43.65a | 35.26b | 24.39c |
| ***Composición corporal total, %*** |
| Humedad | 72.15 | 72.47 | 70.72 | 71.65 | 71.55 | 73.37 | 73.40 |
| Proteína cruda | 14.65 | 13.57 | 15.02 | 14.05 | 13.92 | 13.90 | 13.15 |
| Lípidos crudos | 8.98 | 9.31 | 9.50 | 9.52 | 9.86 | 8.78 | 8.23 |
| Cenizas | 2.64 | 3.15 | 3.19 | 3.31 | 2.82 | 2.96 | 3.21 |

a.b.c,d Los promedios dentro del mismo renglón con distintos superíndices son diferentes (P < 0.05)

## Perca amarilla (*Perca flavescens*)

Von Eschen et al. (2021) evaluaron una fuente de HP-DDG de 40% de PC como sustituto parcial o total de la harina de arenque (72% de PC) en dietas de juveniles de perca amarilla (*Perca flavescens*) en una prueba de alimentación de 105 días. Las dietas experimentales contenían niveles crecientes de sustitución de 25, 50, 75 y 100% de la harina de pescado con HP-DDG. La ganancia de peso, la conversión alimenticia, la digestibilidad aparente de la proteína y el factor de condición se correlacionaron negativamente con los niveles crecientes de HP-DDG en la dieta. A medida que disminuía la tasa de inclusión de harina de pescado en las dietas, lo hizo también el desempeño del crecimiento, pero en todos los tratamientos la supervivencia fue del 100%. Los resultados de este estudio indican que la adición de HP-DDG en las dietas de perca amarilla no debe superar el 50% de tasa de sustitución, además de que es probable que la lisina sintética suplementaria mejore el desempeño del crecimiento.

# Resumen de las pruebas de alimentación con HP-DDG en vacas lecheras lactantes

Un estudio inédito realizado por Zynda et al. (2021) evaluó la alimentación de dietas con HP-DDG (ICM, Inc.) al 20% de consumo de materia seca, con y sin levadura o manipulación de la diferencia de cationes y aniones de la dieta (DCAD) en la producción de leche, digestibilidad de nutrientes y emisiones de gas del estiércol de vacas lecheras lactantes. Comparado con la alimentación de la dieta control de harina de soya, alimentar con HP-DDG redujo el rendimiento de leche como resultado de una menor digestibilidad de la materia orgánica y la FND, así como también redujo el rendimiento de la grasa láctea, producto del alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados y menor DCAD. Sin embargo, al elevar la DCAD en las dietas con HP-DDG con la suplementación de cationes se logró paliar la disminución de la grasa láctea, aunque no hubo efectos benéficos en ninguna de las medidas evaluadas con los HP-DDG con levadura. Además, debido a la concentración relativamente alta de fósforo y azufre en los HP-DDG, aumentó la excreción de estos minerales en las heces fecales de las vacas alimentadas con HP-DDG, que también aumentó las emisiones de sulfuro de hidrógeno. Estos resultados enfatizan la importancia de equilibrar la DCAD si se alimentan cantidades altas de HP-DDG en vacas lecheras lactantes para evitar la disminución de la grasa láctea, pero la alimentación de HP-DDGS con mayor contenido de levadura no mejoró la producción y composición de la leche, digestibilidad de nutrientes, ni redujo las emisiones de gases de las heces fecales.

# Conclusiones

Las fuentes de HP-DDG que hay en el mercado cuentan con un perfil nutricional muy diferente al de las fuentes producidas y evaluadas hace 10 o 15 años, además de que varían significativamente entre las fuentes actuales. Por lo tanto, es fundamental la comunicación con el proveedor de HP-DDG para obtener los datos reales de energía, aminoácidos y fósforo digestibles específicos de la fuente de HP-DDG con la que se va a alimentar para garantizar una formulación de dietas precisa y lograr un desempeño óptimo del animal. En teoría, la adición de carbohidrasas y proteasas adecuadas en dietas porcinas, avícolas y acuícolas mejoraría el uso de la fibra dietética y el contenido de EM en las dietas con HP-DDG, pero los pocos estudios realizados hasta ahora en cerdos y aves indican que no es una estrategia eficaz. Aunque los HP-DDG tienen mayor contenido de proteína cruda y de aminoácidos digestibles que los DDGS convencionales, contienen leucina en exceso con relación a isoleucina y valina, lo cual disminuye el consumo del alimento y la tasa de crecimiento en las dietas de cerdos lactantes y en crecimiento-finalización con niveles crecientes de HP-DDG. Por lo tanto, tal vez sea necesario suplementar varios aminoácidos cristalinos (como lisina, treonina, triptófano, isoleucina o valina) en la dieta, para superar la reducción del consumo de alimento y del crecimiento, dependiendo de la tasa de inclusión del HP-DDG utilizado. Pocos estudios en pollos de engorde y gallinas de postura indican que los HP-DDG sustentan satisfactoriamente el desempeño, si se limita al 10% en las dietas de pollos de engorde y al 15% en las de gallinas de postura. En general, parece que es posible utilizar los HP-DDG para sustituir hasta el 50% de proteína en dietas sin harina de pescado de tilapia del Nilo y perca amarilla, pero puede requerir de lisina suplementaria para que sustente un desempeño del crecimiento óptimo. En el caso del bagre estriado y de canal, no se recomienda más del 20% de HP-DDG como sustituto parcial de la harina de soya, además de que tal vez sea necesario sustentar el desempeño del crecimiento óptimo mediante la suplementación de lisina y otros aminoácidos esenciales. El uso de los HP-DDG en dietas de vacas lecheras lactantes sustenta satisfactoriamente la producción y composición de la leche, pero un factor importante para optimizar su uso es ajustar la formulación de la dieta para equilibrar la diferencia de cationes y aniones.

# Bibliografía

AAFCO. 2020. Association of American Feed Control Officials – Official Publication. Champaign, IL.

Adeola, O., and D. Ragland. 2016. Comparative ileal amino acid digestibility of distillers' grains for growing pigs. Anim. Nutr. 2:262- 266. doi: 10.1016/j.aninu.2016.07.008

Adeola, O., and D. Ragland. 2012. Ileal digestibility of amino acids in coproducts of corn processing into ethanol for pigs. J. Anim. Sci. 90:86-88.

Allam, B.W., H.S. Khalil, A.T. Mansour, T.M. Srour, E.A. Omar, and A.A.M. Nour. 2020. Impact of substitution of FM by high protein distillers grains on growth performance, plasma protein and economic benefit of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). Aquaculture 517:734792. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734792>

Anderson, P.V., B.J. Kerr, T.E. Weber, C.J. Ziemer, and G.C. Shurson. Determination and prediction of digestible and metabolizable energy from chemical analysis of corn coproducts fed to finishing pigs. J. Anim. Sci. 90:1242-1254.

Applegate, T.J., C. Troche, Z. Jiang, and T. Johnson. 2009. The nutritional value of high-protein corn distillers grains for broiler chickens and its effect on nutrient excretion. Poult. Sci. 88:354-359. doi:3382/ps.2008-00346

Barnes, M.E., M.L. Brown, and K.A. Rosentrater. 2012a. Initial observations on the inclusion of high protein distiller’s dried grain into rainbow trout diets. Open Fish Sci. J. 5:21-29.

Barnes, M.E., M.L. Brown, K.A. Rosentrater, and B. Fletcher. 2012b. Replacement of FM with high protein distiller’s dried grain in juvenile rainbow trout diets. J. Aquac. Feed Sci. Nutr. 4:39-47.

Batal, A. 2007. Nutrient digestibility of high protein corn distillers dried grains with solubles, dehydrated corn germ and bran. Poult. Sci. 86(Suppl. 1):206.

Boucher, M., C. Zhu, S. Holt, and L.-A. Huber. 2021. Physiochemical characterization and energy contents of novel corn ethanol co-product streams, with and without inclusión of a multi-carbohydrase enzyme blend, for growing pigs. Can. J. Anim. Sci. 101:353-361. dx.doi.org/10.1139/cjas-2020-0144

Buenavista, R.M.E., K. Siliveru, and Y. Zheng. Utilization of distiller’s dried grains with solubles: A review. J. Agric. Food Res. 5:100195. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100195>

Cemin, H.S., H.E. Williams, M.D. Tokach, S.S. Dritz, J.C. Woodworth, J.M. DeRouchey, R.D. Goodband, K.F. Coble, B.A. Carrender, and M.J. Gerhart. 2020. Estimate of the energy value of SBM relative to corn based on growth performance of nursery pigs. J. Anim. Sci. Biotechnol. 11:70. doi:10.1186/s40104-020-00474-x

Cemin, H.S., M.D. Tokach, S.S. Dritz, J.C. Woodworth, J.M. DeRouchey, and R.D. Goodband. 2019a. Meta-regression analysis to predict the influence of branched-chain and large neutral amino acids on growth performance of pigs. J. Anim. Sci. 97:2505-2514. doi:10.1093/jas/skz118

Cemin, H.S., M.D. Tokach, and S.S. Dritz. 2019b. Evaluating the productive energy content of high-protein distillers dried grains in swine diets. Kansas Agric. Exp. Sta. Rep. 5(8):1-9. <https://doi.org/10.4148>

Christen, K.A., D.J. Schingoethe, K.F. Kalscheur, A.R. Hippen, K.K. Karges, and M.L. Gibson. 2010. Response of lactating dairy cows to high protein distillers grains or 3 other protein supplements. J. Dairy Sci. 93:2095-2104.

Cristobal, M., J.P. Acosta, S.A. Lee, and H.H. Stein. 2020. A new source of high-protein distillers dried grains with solubles (DDGS) has greater digestibility of amino acids and energy, but less digestibility of phosphorus, than de-oiled DDGS when fed to growing pigs. J. Anim. Sci. 98:1-9. doi:10.1093/jas/skaa200

Espinosa, C.D., and H.H. Stein. 2018. High-protein distillers dried grains with solubles produced using novel front-end-back-end fractionation technology has greater nutritional value than conventional distillers dried grains with solubles when fed to growing pigs. J. Anim. Sci. 96:1869-1876. doi:10.1093/jas/sky052

Foley, J., S. Purdum, and M.F. Wilken. 2022. New generation high protein dried distillers grain in White Leghorn laying hens diets. Unpublished abstract provided with permission from ICM, Inc.

Fries-Craft, K., and E.A. Bobeck. 2019. Evaluation of a high-protein DDGS product in broiler chickens: performance, nitrogen-corrected apparent metabolizable energy, and standardized ileal amino acid digestibility. Brit. Poult. Sci. 60: <https://doi.org/10.1080/00071668.2019.1652884>

Garland, S.A., M.L. Jolly-Breithaupt, H.C. Hamilton, G.E. Erickson, J.C. MacDonald, and R.A. Mass. 2019a. Evaluation of the energy value and nutrient digestibility of distillers grains that have undergone a fiber separation process in finishing diets. Nebraska Beef Cattle Reports, 1019, p. 94-96. <https://digitalcommons.unl.edu/animalscinbcr/1019>

Garland, S.A., B.M. Boyd, F.H. Hilscher, G.E. Erickson, J.C. MacDonald, and R.A. Mass. 2019b. Evaluation of corn bran plus solubles on performance and carcass characteristics in finishing diets. Nebraska Beef Cattle Reports, 1020, p. 91-93. <https://digitalcommons.unl.edu/animalscinbcr/1020>

Garland, S.A., B.M. Boyd, F.H. Hilscher, G.E. Erickson, J.C. MacDonald, and R.A. Mass. 2019c. Evaluation of fractionated distillers grains (high protein and bran plus solubles) on performance and carcass characteristics in finishing diets. Nebraska Beef Cattle Reports, 1021, p. 88-90. <https://digitalcommons.unl.edu/animalscinbcr/1021>

Gutierrez, N.A., D.Y. Kil, and H.H. Stein, 2009a. Net energy of distillers dried grains with solubles and high protein distillers dried grains fed to growing and finishing pigs. J. Anim. Sci. 87(Suppl. 2):332

Gutierrez, N.A., D.Y. Kil, B.G. Kim, and H.H. Stein. 2009b. Effects of distillers dried grains with solubles and high protein distillers dried grains on growth performance and organ weights of growing and finishing pigs. J. Anim. Sci. 87(Suppl. 3):136.

Hanson, A.R., P.E. Urriola, L. Wang, L.J. Johnston, C. Chen, and G.C. Shurson. 2016. Dietary peroxidized maize oil affects the growth performance and antioxidant status of nursery pigs. Anim. Feed Sci. Technol. 216:251-261.

Hanson, A.R., P.E. Urriola, L.J. Johnston, and G.C. Shurson. 2015. Impact of synthetic antioxidants on lipid peroxidation of distiller’s dried grains with solubles and distiller’s corn oil under high temperature and humidity conditions. J. Anim. Sci. 93:4070-4078.

Herath, S.S., Y. Haga, and S. Satoh. 2016a. Potential use of corn co-products in fishmeal-free diets for juvenile Nile tilapia Oreochromis niloticus. Fish Sci. 82:811-818. <https://doi.org/10.1007/s12562-016-1008-6>

Herath, S.S., Y. Haga, and S. Satoh. 2016b. Effects of long-term feeding of corn co-product-based diets on growth, fillet color, and fatty acid and amino acid composition of Nile tilapia, Oreochromis niloticus. Aquaculture 464:205-212. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.06.032>

Hung, Y.T., A.R. Hanson, G.C. Shurson, and P.E. Urriola. 2017. Peroxidized lipids reduce growth performance of poultry and swine: A meta-analysis. Anim. Feed Sci. Technol. 231:47-58.

Hussain, M., M.A. Mirza, H. Nawaz, M. Asghar, and G. Ahmed. 2019. Effect of exogenous protease, mannanase, and xylanase supplementation in corn and high protein corn DDGS based diets on growth performance, intestinal morphology and nutrient digestibility in broiler chickens. Braz. J. Poult. Sci. 21:1-10. <https://dx.doi.org/10.1590/1806-9061-2019-1088>

Jacela, J.Y., J.M. DeRouchey, S.S. Dritz, M.D. Tokach, R.D. Goodband, J.L. Nelssen, R.C. Sulabo, R.C. Thaler, L. Brandts, D.E. Little, and K.J. Prusa. 2011. Amino acid digestibility and energy content of deoiled (solvent extracted) corn distillers dried grains with solubles for swine and effects on growth performance and carcass characteristics. J. Anim. Sci. 89:1817-1829. Doi:10.2527/jas.2010-3097

Jacela, J.Y., H.L. Frobose, J.M. DeRouchey, M.D. Tokach, S.S. Dritz, R.D. Goodband, and J.L. Nelssen. 2010. Amino acid digestibility and energy concentration of high-protein corn dried distillers grains and high-protein sorghum dried distillers grains with solubles for swine. J. Anim. Sci. 88:3617-3623.

Jang, J.-C., Z. Zeng, P.E. Urriola, and G.C. Shurson. 2021. Effects of feeding corn distillers dried grains with solubles diets without or with supplemental enzymes on growth performance of pigs: a meta-analysis. Transl. Anim. Sci. 5:1-15. doi:10.1093/tas/txab029

Jung, B., and A.B. Batal. 2010. Evaluation of high protein distillers’ dried grains as a feed ingredient for broiler chickens. Can. J. Anim. Sci. 90:505-512. Doi:10.4141/cjas10030

Jung, B., and A. Batal. 2009. The nutrient digestibility of high-protein corn distillers dried grains and the effect of feeding various levels on the performance of laying hens. J. Appl. Poult. Res. 18:741-751.

Kerr, B.J., W.A. Dozier III, and G.C. Shurson. 2016. Lipid digestibility and energy content of distillers’corn oil in swine and poultry. J. Anim. Sci. 94:2900-2908.

Kerr, B.J., T.A. Kellner, and G.C. Shurson. 2015. Characteristics of lipids and their feeding value in swine diets. J. Anim. Sci. Biotechnol. 6:30.

Kim, E.J., C.M. Parsons, R. Srinivasan, and V. Singh. 2010. Nutritional composition, nitrogen-corrected true metabolizable energy, and amino acid digestibilities of new corn distillers dried grains with solubles produced by new fractionation processes. Poult. Sci. 89:44-51.

Kim, B.G., G.I. Petersen, R.B. Hinson, G.L. Allee, and H.H. Stein. 2009. Amino acid digestibility and energy concentration in a novel source of high-protein distillers dried grains and their effects on growth performance of pigs. J. Anim. Sci. 87:4013-4021.

Kim, E.J., C. Martinez-Amezcua, P.L. Utterback, and C.M. Parsons. 2008. Phosphorus bioavailability, true metabolizable energy, and amino acid digestibilities of high protein corn distillers dried grains and dehydrated corn germ. Poult. Sci. 87:700-705. doi:10.3382/ps.2007-003302.

Maxin, G., D.R. Ouellet, and H. Lapierre. 2013. Ruminal degradability of dry matter, crude protein, and amino acids in SBM, canola meal, corn, and wheat dried distillers grains. J. Dairy Sci. 96:5151-5160.

Maxin, G., D.R. Ouellet, and H. Lapierre. 2013. Effect of substitution of SBM by canola meal or distillers grains in dairy rations on amino acid and glucose availability. J. Dairy Sci. 96:7806-7817.

Mjoun, K., K.F. Kalscheur, A.R. Hippen, D.J. Schingoethe, and D.E. Little. 2010a. Lactation performance and amino acid utilization of cows fed increasing amounts of reduced-fat dried distillers grains with solubles. J. Dairy Sci. 93:288-303. doi:10.3168/jds.2009-2377

Mjoun, K., K.F. Kalscheur, A.R. Hippen, and D.J. Schingoethe. 2010b. Performance and amino acid utilization of early lactation dairy cows fed regular or reduced-fat dried distillers grains with solubles. J. Dairy Sci. 93:3176-3191. doi:10.3168/jds.2009-2974

Mjoun, K., K.F. Kalscheur, A.R. Hippen, and D.J. Schingoethe. 2010c. Ruminal degradability and intestinal digestibility of protein and amino acids in soybean and corn distillers grains products. J. Dairy Sci. 93:4144-4154. doi:10.3168/jds.2009-2883

Mjoun, K., K. F. Kalscheur, A. R. Hippen, and D.J. Schingoethe. 2009. In situ ruminal degradability and intestinal digestibility of protein in soybean and dried distillers grains with solubles products. J. Anim. Sci. 87(E-Suppl. 2): 84.

Nazeer, S., D.C. Fornari, H.S.C. Galkanda-Arachchige, S. Tilton, and D.A. Davis. 2022. Use of high protein distiller’s dried grain with yeat in practical diets for the channel catfish, *Ictalurus punctatus*. Aquaculture 546:737387. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737387>

Noblet, J., H. Fortune, X.S. Shi, and S. Dubois. 1994. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. J. Anim. Sci. 86:2180-2189.

Noblet, J., and J.M. Perez. 1993. Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. J. Anim. Sci. 71:3389-3398.

Øverland, M., Å. Krogdahl, G. Shurson, A. Skrede, and V. Denstadli. 2013. Evaluation of distiller’s dried grains with solubles (DDGS) and high protein distiller’s dried grains (HPDDG) in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 416-417:201-208. <https://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.09.016>

Petersen, G.I., Y. Liu, and H.H. Stein. 2014. Coefficient of standardized ileal digestibility of amino acids in corn, SBM, corn gluten meal, high-protein distillers dried grains, and field peas fed to weanling pigs. Anim. Feed Sci. Technol. 188:145-149.

Prachom, N., Y. Haga, and S. Satoh. 2013. Impact of dietary high protein distillers dried grains on amino acid utilization, growth response, nutritional health status and waste output in juvenile rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). Aquac. Nutr. 19:62-71. <https://doi.org/10.1111/anu.12049>

Rao, Z.-X., R.D. Goodband, M.D. Tokach, S.S. Dritz, J.C. Woodworth, J.M. DeRouchey, H.I. Calderone, and M.F. Wilken. 2021. Evaluation of high-protein distillers dried grains on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. Transl. Anim. Sci. 5:1-9. doi:10.1093/tas/txab038

Rho, Y., C. Zhu, E. Kiarie, and C.F.M. de Lange. 2017. Standardized ileal digestible amino acids and digestible energy contents in high-protein distiller’s dried grains with solubles fed to growing pigs. J. Anim. Sci. 85:3591-3597. <https://doi.org/10.2527/jas.2017.1553>

Rochell, S.J., B.J. Kerr, and W.A. Dozier, III. 2011. Energy determination of corn co-products fed to broiler chicks from 15 to 24 days of age, and use of composition analysis to predict nitrogen-corrected apparent metabolizable energy. Poult. Sci. 90:1999-2007. doi:10.3382/ps.2011-01468

Rojo, A., M. Ellis, E.B. Gaspar, A.M. Gaines, B.A. Peterson, F.K. McKeith, and J. Killefer. 2016. Effects of dietary inclusion level of distillers dried grains with solubles (DDGS) and high-protein distillers dried grains (HP-DDG) on the growth performance and carcass characteristics of wean-to-finish pigs. J. Anim. Sci abstract doi: 10.2527/msasas2016-187 p. 88

Seabolt, B.S., E. van Heugten, S.W. Kim, K.D. Ang-van Heugten, and E. Roura. 2010. Feed preferences and performance of nursery pigs fed diets containing various inclusion amounts and qualities of distillers coproducts and flavor. J. Anim. Sci. 88:3725-3738.

Shurson, G.C, B.J. Kerr, and A.R. Hanson. 2015. Evaluating the quality of feed fats and oils and their effects on pig growth performance. J. Anim. Sci. Biotechnol. 6:10.

Soares, J.A., H.H. Stein, V. Singh, G.C. Shurson, and J.E. Pettigrew. 2012. Amino acid digestibility of corn distillers dried grains with solubles, liquid condensed solubles, pulse dried thin stillage, and syrup balls fed to growing pigs. J. Anim. Sci. 90:1255-1261.

Swanepoel, N., P.H. Robinson, and L.J. Erasmus. 2014. Determining the optimal ratio of canola meal and high protein dried distillers grain protein in diets of high producing Holstein dairy cows. Anim. Feed Sci. Technol. 189:41-53.

Tangendjaja, B., and E. Wina. 2011. Feeding value of low and high protein dried distillers grains and corn gluten meal for layer. Media Peternakan 34:133-139. <https://doi.org/10.5398/medpet.2011.34.2.133>

Tidwell, J., S. Coyle, L. Bright, L. Pires, and K. Rosentrater. 2017. Effects of varying levels of high-protein distillers grains on growth performance of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, and post-extrusion feed pellet characteristics. J. World Aquac. Soc. 48:426-434. <https://doi.org/10.1111/jwas.12374>

Von Eschen, A.J., M.L. Brown, and K. Rosentrater. 2021. Effect of increasing dietary high protein distillers dried grains on yellow perch *Perca flavescens* performance. J. Appl. Aquac. <https://doi.org/10.1080/10454438.2021.1885558>

Widmer, M.R., L.M. McGinnis, D.M. Wulf, and H.H. Stein. 2008. Effects of feeding distillers dried grains with solubles, high-protein distillers dried grains, and corn germ to growing-finishing pigs on pig performance, carcass quality, and the palatability of pork. J. Anim. Sci. 86:1819-1831.

Widmer, M.R., L.M. McGinnis, and H.H. Stein. 2007. Energy, phosphorus, and amino acid digestibility of high-protein distillers dried grains and corn germ fed to growing pigs. J. Anim. Sci. 85:2994-3003.

Wiseman, J., J. Powles, and F. Salvador. 1998. Comparison between pigs and poultry in the prediction of dietary energy value of fats. Anim. Feed Sci. Technol. 71:1-9.

Yang, Z., P.E. Urriola, A. Hilbrands, L.J. Johnston, and G.C. Shurson. 2020. Effects of feeding high-protein corn distillers dried grains and a mycotoxin mitigation additive on growth performance, carcass characteristics, and pork fat quality of growing-finishing pigs. Transl. Anim. Sci. 4:1-16. doi:10.1093/tas/txaa051

Yang, Z., P.E. Urriola, A.M. Hilbrands, L.J. Johnston, and G.C. Shurson. 2019. Growth performance of nursery pigs fed diets containing increasing levels of a novel high-protein corn distillers dried grains with solubles. Transl. Anim. Sci. 3:350-358. doi:10.1093/tas/txy101

Zynda, H.M., J.E. Copelin, L.R. Rebelo, W.P. Weiss, M. Wilken, and C. Lee. 2021. Effects of high-protein corn distillers’ grains with and without yeast or manipulation of dietary cation and anion difference on production, nutrient digestibility, and gas emissions from manure in lactating dairy cows. Unpublished but included with permission from ICM, Inc.