

Capítulo 4

Composición y digestibilidad de nutrientes de los DDGS: Variabilidad y medición *in vitro*

Introducción

Uno de los desafíos de usar DDGS de maíz en los alimentos para animales es conocer el contenido y digestibilidad de los nutrientes de la fuente que se va a alimentar. Varios estudios han descrito la variabilidad en el contenido y digestibilidad de nutrientes de varias especies animales (Spiehs et al., 2002; Tjardes y Wright, 2002; Waldroup et al., 2007; Stein y Shurson, 2009) además de que está bien documentado que el contenido de nutrientes de los DDGS de maíz puede variar entre las diversas fuentes de esta materia prima en EUA (**Cuadro 1**); también se ha mostrado que varía con el tiempo dentro de la misma planta (Spiehs et al., 2002).

Cuadro 1. Promedios e intervalos en la composición de nutrientes seleccionados (con base al 100% de materia seca) entre 32 fuentes de DDGS de maíz de Estados Unidos¹.

Nutriente	Promedio (CV)	Intervalo
Proteína cruda, %	30.9 (4.7)	28.7 - 32.9
Grasa cruda, %	10.7 (16.4)	8.8 - 12.4
Fibra cruda, %	7.2 (18.0)	5.4 - 10.4
Cenizas, %	6.0 (26.6)	3.0 - 9.8
EM (cerdos) calculada, kcal/kg	3810 (3.5)	3504 - 4048
Lisina, %	0.90 (11.4)	0.61 - 1.06
Arginina, %	1.31 (7.4)	1.01 - 1.48
Triptófano, %	0.24 (13.7)	0.18 - 0.28
Metionina, %	0.65 (8.4)	0.54 - 0.76
Fósforo, %	0.75 (19.4)	0.42 - 0.99

¹ www.ddgs.umn.edu.

Los nutriólogos o nutricionistas precisan de consistencia y predictabilidad del contenido y digestibilidad de nutrientes en los ingredientes para alimentos balanceados que compran y utilizan. Como se muestra en el **Cuadro 1**, los nutrientes más variables entre las fuentes de DDGS son grasa, fibra, cenizas, lisina, triptófano y fósforo. Al haber plantas de etanol que utilizan tecnología de fraccionamiento inicial y de extracción final de aceite, se hace más diversa y confusa la composición de nutrientes de los coproductos de destilería, debido a que a menudo el término de “DDGS” se utiliza de forma equivocada cuando se describen estos coproductos de maíz nutricionalmente diferentes que hay en el mercado de los ingredientes de

alimentos balanceados (por ejemplo, los DDGS altos en proteína). Como resultado, los DDGS son menos “*commodity*” comparado con otros ingredientes tales como el maíz o la harina de soya.

Para manejar la diversidad entre las fuentes de DDGS, algunos fabricantes de alimentos comerciales solicitan que se preserve la identidad de las fuentes de DDGS que eligen y limitan el número de fuentes de DDGS en la lista de los proveedores preferidos de la compañía. El uso de "herramientas" nutricionales comerciales tales como "Illuminate" de Value Added Science and Technologies (<http://v-ast.com/services.htm>) puede mejorar mucho la capacidad del comprador y del usuario final para identificar las fuentes de DDGS que proporcionen el mejor valor nutricional y económico, así como brindar valores precisos de carga de nutrientes de dichas fuentes para poder mejorar la formulación de dietas, tanto del ganado como de las aves. Estas herramientas existen comercialmente para el usuario final de DDGS. Hay otros fabricantes de alimentos balanceados comerciales en EUA que han desarrollado y usan otros sistemas para determinar el valor relativo y los valores de carga de nutrientes de las fuentes de DDGS para sus clientes.

Olentine (1986) listó una serie de variables en las materias primas y factores de procesamiento que contribuyen a la variación en la composición de nutrientes de los subproductos de destilería (**cuadro 2**). Gran parte de la variación en el contenido de nutrientes de DDGS de maíz probablemente se deba a la variación normal entre las variedades y las ubicaciones geográficas en donde se cultiva. Reese y Lewis (1989) mostraron que el maíz producido en Nebraska en 1987 tenía entre 7.8 y 10.0% de proteína cruda, de 0.22 a 0.32% de lisina y 0.24 a 0.34% de fósforo.

También varía entre plantas la proporción de mezcla de los solubles de destilería condensados con la fracción de granos para producir DDGS. Debido a que hay diferencias sustanciales en la composición de nutrientes entre estas dos fracciones, es comprensible que la proporción de granos y solubles mezclados juntos vayan a tener un efecto importante sobre la composición final de nutrientes de los DDGS. Noll et al. (2006) evaluaron la composición de nutrientes y la digestibilidad de lotes de DDGS de maíz producidos con niveles variables de

solubles añadidos a los granos húmedos. Las muestras de DDGS producidas contenían solubles añadidos a aproximadamente 0, 30, 60 y 100% de la adición máxima posible de solubles a los granos. Esto corresponde a añadir 0, 45.4, 94.6, 159.9 litros (0, 12, 25 y 42 galones) de jarabe a la fracción de granos por minuto. Las temperaturas del secador disminuyeron conforme disminuía la tasa de adición de solubles a los granos. El tamaño de



partícula aumentó y fue más variable conforme se aumentaba la adición de solubles a la fracción de granos. La adición de cantidades crecientes de solubles resultó en un color más oscuro de los DDGS (L^* reducido) y menos color amarillo (b^* reducido). El aumento en la adición de solubles dio como resultado un aumento en la grasa cruda, cenizas, EMVn (aves),

magnesio, sodio, fósforo, potasio, cloruro y azufre, pero tuvo efectos mínimos sobre el contenido y digestibilidad de proteína cruda y aminoácidos.

Cuadro 2. Factores que influyen sobre la composición de nutrientes de los coproductos de destilería¹.

<u>Materias primas</u>	<u>Factores de procesamiento</u>
• Tipos de granos • Variedad de granos • Calidad de granos • Condiciones de la tierra • Fertilizante • Clima • Métodos de producción y cosecha • Fórmula del grano	• Procedimiento de molienda • Fineza • Duración • Cocción • Cantidad de agua • Cantidad de premalta • Temperatura y tiempo • Fermentación continua o por lotes • Tiempo de enfriamiento • Conversión • Tipo, cantidad y calidad de malta • Amilasa fúngica • Tiempo y temperatura • Dilución de granos convertidos • Volumen y galones por bushel o embarque de granos • Calidad y cantidad de productos de granos • Fermentación • Calidad y cantidad de levadura • Temperatura • Tiempo • Enfriamiento • Agitación • Control de acidez y producción • Destilación • Tipo: vacío o atmosférico, continuo o por lotes • Calentamiento directo o indirecto • Cambio en el volumen durante la destilación • Procesamiento • Tipo de malla: estacionaria, giratoria o vibratoria • Uso de centrífugas • Tipo de prensas • Evaporadores • Temperatura • Número • Secadores • Tiempo • Temperatura • Tipo • Cantidad de jarabes mezclados con grano

¹ Olentine, 1986.

Valor nutritivo y digestibilidad de los DDGS para ganado lechero

Los DDGS de maíz son una fuente muy buena de proteína para las vacas lecheras. El contenido de proteína de los DDGS de maíz es por lo general más del 30% con base en materia seca (MS). Los DDGS son también una buena fuente de proteína no degradable en el rumen (PNDR) o de proteína de sobrepaso para ganado (**cuadro 3**). La mayor parte de la proteína fácilmente degradable en el maíz se degrada durante el proceso de fermentación, lo que resulta en un nivel proporcionalmente más alto de PNDR que el que se encuentra en el maíz. La calidad de la proteína en los DDGS de maíz es bastante buena, pero en lo referente a la mayoría de los coproductos del maíz, la lisina es el primer aminoácido limitante. Como resultado, la producción de leche puede aumentar cuando se alimenta a las vacas lecheras con raciones que contienen lisina y metionina suplementarias protegidas contra el rumen, o cuando se mezclan los DDGS con otros ingredientes altos en proteína que contienen más lisina. Sin embargo, en la mayor parte de las situaciones, la alimentación de raciones que contienen DDGS resultan en una producción de leche tan alta o mayor que cuando se alimentan con raciones que contienen harina de soya como fuente de proteína. También es importante reconocer que los DDGS de color oscuro, por lo general indican un daño térmico de la proteína, que puede llevar a una reducción en la producción de leche. En un estudio de Powers et al. (1995), las vacas lecheras que consumieron dietas que contenían DDGS de color oscuro, presentaron una menor producción de leche que las que se alimentaron con DDGS de color dorado. Por lo tanto, es importante utilizar fuentes de DDGS de alta calidad de color dorado en dietas para vacas lecheras, para así lograr una máxima producción de leche.



Boucher et al. (2009) concluyeron que cuando se identifican y validan ecuaciones adecuadas de predicción, es posible predecir la digestibilidad PNDR - aminoácidos a partir de la digestibilidad de los aminoácidos en el alimento intacto, porque está altamente correlacionada a la digestibilidad estandarizada de los aminoácidos y del PNDR-aminoácidos. Además, aunque la concentración de PCIAD pueden ser un indicador útil de la calidad de la proteína, gran parte de la variación de la digestibilidad aminoácidos entre las muestras de DDGS no se explica por las diferencias en las concentraciones de PCIAD. Mjoun et al. (2010) compararon la degradabilidad ruminal y la digestibilidad intestinal de la proteína y aminoácidos en productos de soya y de granos de destilería de maíz, y encontraron que era comparable la disponibilidad de aminoácidos de los coproductos de granos de destilería a aquellos de los coproductos de soya.

Los DDGS son también una muy buen fuente de energía para el ganado lechero. Los valores de energía de los DDGS de alta calidad son 10 - 15% mayores que los previamente notificados por el NRC (2001). Los DDGS del maíz contienen más energía que el maíz. Además, debido a que casi todo el almidón en el maíz se convierte en etanol durante el proceso de fermentación, se triplica la concentración de grasa y fibra en los DDGS, en comparación con el maíz. Los

DDGS contienen altas cantidades de FND, pero bajas cantidades de lignina. Esto hace que los DDGS sean una fuente de fibra altamente digestible para el ganado y reduce las molestias digestivas, en comparación cuando se alimenta el maíz. La fibra altamente digestible de los DDGS de maíz también permite que sirva como un sustituto parcial de los forrajes y concentrados en dietas para ganado lechero y de engorda.

Nuez-Ortin y Yu (2011) compararon el método de resumen químico del NRC 2001 a un ensayo *in situ* para estimar el contenido energético del trigo, maíz y mezclas de trigo y maíz de DDGS, en donde encontraron que no eran diferentes los valores energéticos predichos, pero que se requieren de refinamientos de la fórmula NRC 2001 para una mejor predicción de la FND digestible y de la proteína cruda de estos coproductos.

Cuadro 3. Composición de nutrientes de la DDGS del maíz para ganado lechero¹.

Nutriente	DDGS de maíz (% de materia seca)
Proteína cruda	30.1
PNDR ^a % de proteína cruda	55.0
EN _{mantenimiento} , Mcal/kg	2.07
EN _{ganancia} , Mcal/kg	1.41
EN _{lactación} , Mcal/kg	2.26
Fibra neutrodetergente (FND)	41.5
Fibra ácidodetergente (FAD)	16.1
Extracto etéreo	10.7
Cenizas	5.2
Calcio	0.22
Fósforo	0.83
Magnesio	0.33
Potasio	1.10
Sodio	0.30
Azufre	0.44

^aPNDR = proteína no degradable en el rumen

¹ Schingoethe, 2004.

Valor nutritivo y digestibilidad de los DDGS para ganado de engorda

En el **Cuadro 4** (Tjardes y Wright, 2002) se muestra una amplia gama de valores de nutrientes comunes de los granos secos de destilería (DDG) y los granos secos de destilería con solubles (DDGS). Los granos de destilería con o sin solubles son una excelente fuente de energía para el ganado de engorda. En EUA, el ganado de engorda en finalización se ha alimentado con

éxito hasta con el 40% de DDGS de la materia seca de la ración, en sustitución del maíz. Cuando se añaden DDGS a la dieta a este nivel, se usa principalmente como fuente de energía, además de suministrar más proteína y fósforo que lo requerido para terminar el ganado de engorda estabulado. En un estudio de investigación (Ham et al., 1994), la EN_{ganancia} de los DDGS de ganado de engorda fue 21% más alta que el valor del maíz rolado en seco. La mayor parte de los nutriólogos o nutricionistas consideran, de forma conservadora, que los DDGS tienen un valor de energía aparente igual al del maíz en grano cuando se alimenta a ganado en finalización a niveles que van del 10 al 20% de la MS del alimento total. En muchos estudios, la alimentación de DDGS a niveles del 15 a 20% de la materia seca de la dieta mejoró la tasa de crecimiento y la conversión alimenticia del ganado de engorda en finalización, comparado cuando se usan dietas que contienen maíz en grano. Esta mejora del desempeño es a menudo el resultado de una reducción de la acidosis subaguda y de tener menores problemas con el ganado sin alimento. El almidón en el maíz es más probable que cause acidosis, laminitis e hígado graso cuando se alimenta a niveles altos a ganado de engorda en finalización. Sin embargo, estos problemas se reducen mucho cuando se alimentan los DDGS, porque tienen un bajo contenido de almidón residual (menos del 2%) y por la alta cantidad de fibra altamente digestible.

Cuadro 4. Intervalo de concentraciones de nutrientes seleccionados en DDG y DDGS de maíz (con base al 100% de materia seca).

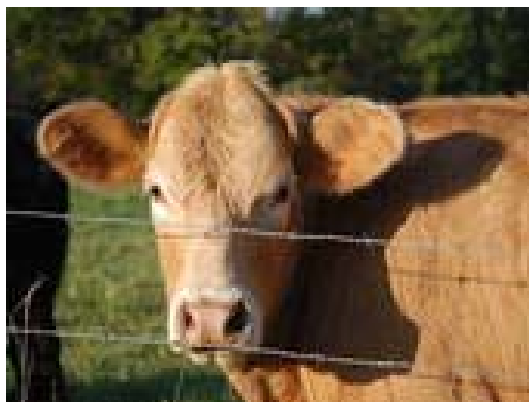
Nutriente	DDG ¹	DDGS ²
Materia seca, %	88-90	88-90
Proteína cruda, %	25-35	25-32
Proteína ingerida degradable, % de PC	40-50	43-53
Grasa, %	8-10	8-10
FND, %	40-44	39-45
TND, %	77-88	85-90
EN_m, Mcal/kg	1.96-2.21	2.16-2.21
EN_g, Mcal/kg	1.48-1.54	1.50-1.54
Calcio, %	0.11-0.20	0.17-0.26
Fósforo, %	0.41-0.80	0.78-1.08

¹ Granos secos de destilería.

² Granos de secos de destilería con solubles.

Adaptado de Tjardes y Wright (2002).

Los granos de destilería con o sin solubles son una fuente de proteína muy buena en los alimentos para ganado de engorda y son altos en PNDR. El nitrógeno insoluble ácidodetergente (NIAD) se puede usar para determinar el grado de daño de la proteína en los DDGS. Una vez que se determina en el laboratorio el valor NIAD, se multiplica por un factor de 6.25 para calcular el valor adecuado de proteína de los DDGS. Este valor de proteína calculado



representa la cantidad de proteína cruda en los DDGS que no está disponible y que se puede comparar con el valor de proteína cruda real para determinar el grado del daño a la proteína. La proporción de proteína de sobrepaso (PNDR) en los DDGS es de aproximadamente 60 a 70%, en comparación con el 30% de la harina de soya. Sin embargo, Erickson et al. (2005) indicaron que el alto valor de de la proteína de sobrepaso de los DDGS se debe a las características innatas de la proteína, más que al secado o al contenido de humedad, y no

parece estar influido por el NIAD, ya que la eficiencia de la proteína (kg de ganancia/kg de proteína suplementaria) parece que sigue siendo el mismo o aumenta conforme aumenta la cantidad de NIAD en los DDGS.

Los granos de destilería, con o sin solubles, son bajos en calcio pero altos en fósforo y azufre. Dependiendo del nivel alimenticio, la adición de granos de destilería de la dieta, puede permitir una eliminación completa de otras fuentes de fósforo suplementario de la mezcla de minerales que antes se alimentaba. Debido a los niveles altos de DGS húmedos o secos, las dietas del ganado de engorda estabulado contienen fósforo en exceso en relación con el requerimiento. Esto resulta en que se excreta un exceso de fósforo en las heces, lo cual debe considerarse cuando se desarrollan los planes del manejo del estiércol. Debido al bajo nivel de calcio de los DDGS, deben añadirse fuentes de calcio suplementario (por ejemplo, piedra caliza molida o alfalfa) a la dieta para mantener la relación de calcio a fósforo entre 1.2:1 a no más de 7:1, y evitar así reducciones en el desempeño animal y cálculos urinarios (Tjardes y Wright, 2002). A veces, los granos de destilería con o sin solubles pueden ser altos en azufre, lo que contribuye con cantidades significativas de este elemento a la dieta. Si se consume más del 0.4% de azufre del alimento (con base en materia seca) y agua, puede ocurrir polioencefalomalacia en el ganado. Además, el azufre interfiere con la absorción y metabolismo del cobre, lo cual empeora en presencia del molibdeno. Por lo tanto, en zonas geográficas en las que se encuentran niveles altos de azufre en los forrajes y en el agua, será necesario reducir el nivel de DDGS que se añade (Tjardes y Wright, 2002).

Valor nutritivo y digestibilidad de los DDGS para cerdos

La energía bruta (EB) en los DDGS promedia 5,434 kcal/kg de MS (**Cuadro 5**), la cual es mayor que la concentración de EB en el maíz (Stein y Shurson, 2009). Sin embargo la digestibilidad de la energía, medida como porcentaje de la EB, es menor en los DDGS que en el maíz (Stein y Shurson, 2009). El contenido de ED y EM de los DDGS es de 4,140 y 3,897 kcal/kg de MS, respectivamente (Pedersen et al., 2007). Estos valores son similares al contenido de ED y EM en el maíz (**Cuadro 5**). Aún no se ha determinado el valor de energía neta de los DDGS pero se están llevando a cabo actualmente investigaciones para medir estos valores.

Cuadro 5. Concentración de energía en el maíz y 10 fuentes de granos secos de destilería de maíz con solubles (DDGS) alimentados a cerdos en crecimiento¹ (Stein y Shurson, 2009).

Ingrediente:	Maíz	DDGS			
		Promedio	DE	Valor más bajo	Valor más alto
EB, kcal/kg de MS	4,496	5,434	108	5,272	5,592
DATT ² de energía, %	90.4	76.8	2.73	73.9	82.8
ED, kcal/kg de MS	4,088	4,140	205	3,947	4,593
EM, kcal/kg de MS	3,989	3,897	210	3,674	4,336

¹ Datos de Pedersen et al. (2007). N = 11.

² DATT = digestibilidad aparente total del tubo digestivo.

Ya que la mayoría del almidón en el maíz se convierte a etanol, los DDGS contienen aproximadamente 35% de fibra dietética insoluble y 6% de la soluble (Stein y Shurson, 2009; **cuadro 6**). El promedio de digestibilidad ileal aparente, DATT y la fermentación en el intestino superior de la fibra dietética total en 24 fuentes de DDGS de maíz fue 23.0, 47.3 y 24.4%, respectivamente (Urriola et al., 2010). Sin embargo, la concentración de ácidos grasos volátiles en el bolo cecal y las heces aumentó con la longitud del tiempo en cerdos alimentados con dietas de DDGS, lo que indica que el valor de ED de los DDGS mejora con el tiempo cuando está presente en la dieta (Urriola y Stein, 2010). Esta digestibilidad relativamente baja de la fibra resulta en una digestibilidad baja de la MS, lo que explica porqué la digestibilidad de la energía bruta de los DDGS es baja en relación al contenido de ED y EM. Se han desarrollado ecuaciones de predicción de EM adecuadas para calcular el contenido de EM de los DDGS, de los DDGS reducidos en aceite y otros coproductos para cerdos, los cuales se analizan en el **Capítulo 22**.

Cuadro 6. Concentración de carbohidratos y digestibilidad aparente total del tubo digestivo (DATT) de la fibra dietética en los granos secos de destilería de maíz con solubles^{1,2}

Nutriente	Promedio	Valor más bajo	Valor más alto	DE
Almidón, total %	7.3	3.8	11.4	1.4
Almidón soluble, %	2.6	0.5	5.0	1.2
Almidón insoluble, %	4.7	2.0	7.6	1.5
FAD %	9.9	7.2	17.3	1.2
FND, %	25.3	20.1	32.9	4.8
Fibra dietética total insoluble, %	35.3	26.4	38.8	4.0
Fibra dietética total soluble, %	6.0	2.36	8.54	2.1
Fibra dietética total, %	42.1	31.2	46.3	4.9
DATT, fibra dietética total, %	43.7	23.4	55.0	10.2

¹ Datos sin publicar de la University of Illinois y de la University of Minnesota. N = 46 para los datos del almidón, FAD y FND; n = 8 para los datos de la fibra dietética insoluble, soluble y total.

² Stein y Shurson, 2009.

La digestibilidad ileal estandarizada de los aminoácidos se ha medido en 34 fuentes de DDGS de maíz, una fuente de DDGS de sorgo y de 2 fuentes de DDGS de trigo (**cuadro 7**). Estos resultados muestran que la digestibilidad de aminoácidos puede variar de manera significativa entre fuentes incluso cuando los DDGS se producen del mismo tipo de grano (Stein et al., 2005, 2006; Urriola et al., 2009; Pahn et al., 2008a).



Cuadro 7. Concentración y digestibilidad ileal estandarizada (DIE) de proteína cruda (PC) y aminoácidos (AA) en los granos secos de destilería con solubles (DDGS) alimentados a cerdos en crecimiento¹ (Stein y Shurson, 2009).

Nutriente	Concentración de PC y AA (%)			DIE de PC y AA (%)		
	DDGS de maíz	DDGS de sorgo	DDGS de trigo	DDGS de maíz	DDGS de sorgo	DDGS de trigo
PC	27.27	31.50	40.67	72.8	71.4	72.2
AA esenciales						
Arg	1.16	1.06	1.53	81.2	78.2	85.5
His	0.72	0.68	0.92	77.5	70.6	77.4
Ile	1.00	1.31	1.35	75.2	72.7	79.6
Leu	3.12	4.02	2.66	83.7	76.3	82.9
Lys	0.78	0.66	0.65	62.0	62.0	56.6
Met	0.55	0.51	0.53	82.0	75.4	81.1
Phe	1.32	1.62	1.92	81.0	75.8	86.3
Thr	1.06	1.03	1.21	70.8	68.6	74.9
Trp	0.21	0.34	0.40	70.2	70.4	85.7
Val	1.34	1.59	1.70	74.5	72.3	81.9
AA no esenciales						
Ala	1.90	2.79	1.48	78.0	73.4	68.0
Asp	1.82	2.09	1.92	68.6	68.0	56.7
Cys	0.53	0.47	0.73	73.3	65.6	75.2
Glu	4.28	6.08	9.81	80.4	75.5	86.3
Gly	1.02	0.99	1.62	63.4	66.9	67.8
Pro	2.06	2.41	4.11	74.3	83.1	81.0

Ser	1.16	1.35	1.88	75.6	72.5	77.0
Tyr	1.01	-	-	80.9	-	-

¹Datos de DDGS de maíz (34 fuentes) Stein et al. (2005, 2006), Urriola et al. (2007c), Pahm et al. (2008). Datos de DDGS de sorgo (1 fuente) Urriola et al. (2007c). Datos de DDGS de trigo (2 fuentes) Widyaratne y Zijlstra (2007) Lan et al. (2008).

La digestibilidad de la lisina es la más variable comparada con todos los otros aminoácidos esenciales (Fastinger y Mahan, 2006; Stein et al., 2006; Pahm et al., 2008a). La mayor variación en la digestibilidad de la lisina comparada con la de otros aminoácidos se debe a que la lisina es el aminoácido más sensible al daño térmico y el alcance de éste varía entre las fuentes de DDGS (Cromwell et al., 1993; Stein et al., 2006). La mayoría de los aminoácidos en los DDGS tienen una digestibilidad que es aproximadamente de 10 unidades porcentuales menos comparada con el maíz, que puede ser el resultado de una mayor concentración de fibra dietética en los DDGS en comparación con el maíz. Sin embargo, a excepción de la lisina, la variabilidad en la digestibilidad de los aminoácidos entre las fuentes de DDGS se encuentra dentro del intervalo normal de variación observado en otros ingredientes de alimentos balanceados. Las fuentes de DDGS que tienen una digestibilidad baja de lisina a menudo tienen un contenido bajo de este aminoácido. Como resultado, la relación de la lisina a la proteína cruda proporciona una estimación de la digestibilidad relativa de este aminoácido entre las fuentes de DDGS (Stein, 2007). La digestibilidad de aminoácidos en los DDGS de sorgo y de trigo es similares a los valores medidos en los DDGS de maíz (Urriola et al., 2009; Widyaratne y Zijlstra, 2007; Lan et al., 2008).

La medición de color con los espectrofotómetros de laboratorio Minolta o Hunter se han utilizado para predecir la digestibilidad de la lisina en los DDGS. En situaciones extremas, cuando hay un amplio intervalo de color en las muestras de DDGS, puede resultar de utilidad la medición de color con los espectrofotómetros Minolta o Hunter para predecir la digestibilidad de la lisina entre las fuentes de DDGS (Cromwell et al., 1993; Fastinger y Mahan, 2006). En general, los DDGS de color oscuros (L^* menor a 50) presentan digestibilidad más baja de aminoácidos, lo cual puede conducir a una reducción del desempeño del crecimiento cuando se alimentan a cerdos en comparación con los DDGS de color claro (Cromwell et al., 1993; Fastinger y Mahan, 2006). Sin embargo, debido a las mejoras en las condiciones de secado utilizadas en las plantas de etanol, puede no ser muy precisa la predicción de la digestibilidad de la lisina y aminoácidos mediante las mediciones de color, como se muestra en la **figura 1**. Para más información con relación al uso del color del DDGS como un indicador de la digestibilidad de aminoácidos, refiérase al **Capítulo 8**.

El uso de la densidad óptica y de la fluorescencia frontal parece predecir de forma más precisa la digestibilidad de la lisina y otros aminoácidos en los DDGS que la medición del color con las calificaciones Hunter y Minolta (Urriola et al., 2007a,b), pero no se han validado ni comercializado estos métodos. También se han predicho el color de los DDGS y la digestibilidad relativa de los aminoácidos mediante la medición de NIAD (Cromwell et al., 1993). Los ensayos de enzimas tales como IDEA™ y la pepsina/pancreatina (Pedersen et al., 2005; Schasteen et al. 2005) se han evaluado como posibles técnicas *in vitro* para predecir las concentraciones de proteína cruda y de aminoácidos digestibles en los DDGS, pero deja mucho que desear la precisión de estos procedimientos.

Ya se han desarrollado las ecuaciones de predicción de lisina digestible de los DDGS en cerdos. Pahm et al. (2008b) desarrollaron una ecuación de predicción precisa para la lisina digestible ideal estandarizada en los DDGS con la utilización de la medición de lisina reactiva como sigue:

$$\text{Lisina digestible ileal estandarizada (\%)} = 0.023 + 0.637 \times \text{lisina reactiva (\%)}$$

La lisina reactiva se puede calcular de la concentración de furosina en una muestra de DDGS después de la hidrólisis ácida (Pahm et al., 2008b). La furosina se mide con un HPLC y la concentración de lisina reactiva se calcula como sigue:

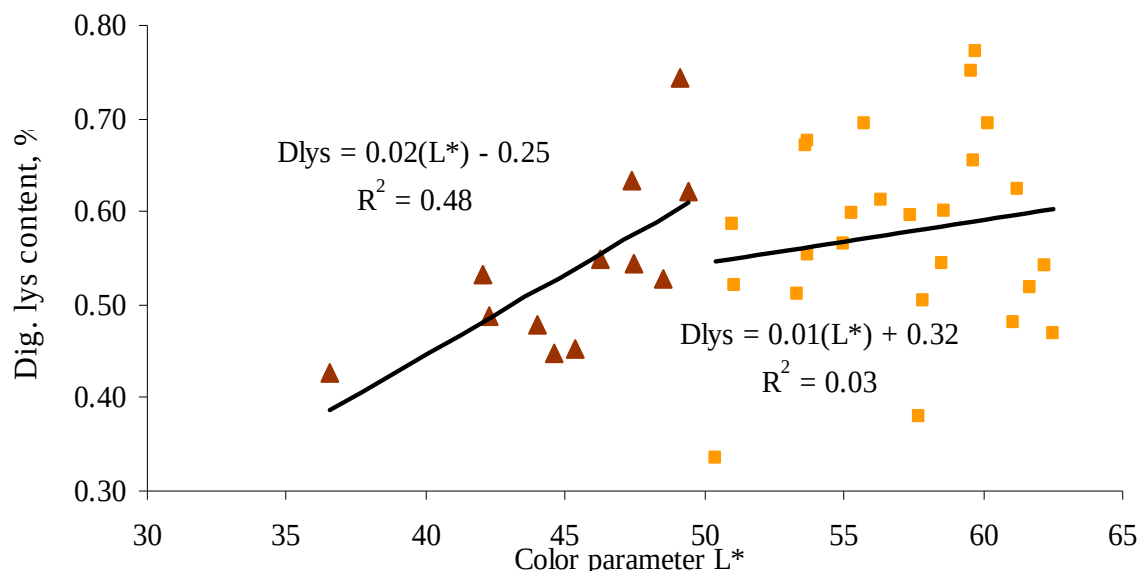
$$\text{Lisina reactiva (\%)} = \text{lisina analizada (\%)} - \text{furosina (\%)} / 0.32 \times 0.40$$

La precisión de esta ecuación se confirmó en un estudio realizado por Kim et al., 2010. Sin embargo, comúnmente no se hace la medición de la furosina en los laboratorios comerciales. Por lo tanto, Stein (2011) desarrollo una ecuación para estimar la lisina digestible que no requiere de la medición de la furosina en muestras en DDGS, como sigue:

$$\text{Lisina digestible ileal estandarizada (\%)} = -0.636 + [0.858 \times \text{lisina (\%)}] \times [0.12 \times (100 \times \text{lisina (\%)} / \text{proteína cruda (\%)})]$$

Esta ecuación se puede utilizar para estimar de forma precisa la lisina digestible en los DDGS que se vayan a usar en dietas porcinas.

Figura 1. Relación entre la claridad del color (L*) y el contenido de lisina digestible de DDGS de maíz (Urriola 2007a, b).



La digestibilidad aparente total del tubo digestivo (DATT) del fósforo en DDGS es de aproximadamente de 59% para cerdos (**cuadro 8**), que es mucho mayor que para el maíz (Pedersen et al., 2007). La DATT del fósforo en los DDGS corresponde a valores de biodisponibilidad entre 70 y 90% en relación a la biodisponibilidad del P en el fosfato dicálcico (Burnell et al., 1989; Whitney y Shurson, 2001). Por lo tanto, si se incluye DDGS en las dietas de cerdos la utilización del fósforo en esta materia prima aumenta, al tiempo que se va a ver reducida la necesidad de fósforo inorgánico suplementario en la dieta. Se puede predecir la digestibilidad estandarizada total del tubo digestivo (DETT) del P en maíz y germen de maíz que resulta de la adición de la fitasa microbiana a la dieta mediante ecuaciones de regresión, pero la fitasa microbiana tiene un efecto mucho menor sobre la DETT del P en el DDGS y HP-DDG y las respuestas de la adición de aumentar los niveles dietéticos de la fitasa no se predicen de manera precisa mediante dichas ecuaciones (Almeida y Stein, 2012).

Cuadro 8. Concentración y digestibilidad de fósforo (P) en 10 fuentes de granos secos de destilería de maíz con solubles alimentados a cerdos en crecimiento¹ (Stein y Shurson, 2009).

Nutriente	Promedio	Baja	Alta	DE
P total, %	0.61	0.51	0.74	0.09
P total, % MS	0.70	0.57	0.85	0.10
Digestibilidad aparente total del tubo digestivo, %	59.1	50.1	68.3	5.18
P digestible, %	0.36	0.28	0.47	0.06

¹ Datos de Pedersen et al. (2007). N = 11.

Valor nutritivo y digestibilidad de los DDGS para aves

Waldroup et al. (2007) publicaron una excelente revisión de datos publicados y desarrollaron una matriz de nutrientes estandarizada para los DDGS de maíz para aves. En primer lugar, determinaron el promedio ponderado del análisis proximal y valores de aminoácidos (**cuadro 9**) de 5 fuentes publicadas (Spiehs et al., 2002; Fiene et al., 2006; Parsons et al., 2006; Fastinger et al., 2006; y Batal y Dale, 2006).



Cuadro 9. Composición promedio (% con base en cómo se alimentó) de nutrientes seleccionados entre fuentes de DDGS¹.

Nutriente	Promedio ponderado
Materia seca	89.36
Proteína cruda	26.45
Grasa	10.08
Fibra	6.99
Cenizas	4.67
Arginina	1.09
Histidina	0.68
Isoleucina	0.96
Leucina	3.00
Lisina	0.73
Metionina	0.50
Cistina	0.54
Fenilalanina	1.31
Treonina	0.96
Triptofano	0.21
Valina	1.30
Serina	1.07

¹ Waldroup et al., 2007.

Se han determinado estimados en cuanto al contenido de energía metabolizable verdadera (EMV_n) en DDGS, los cuales varían entre fuentes (**cuadro 10**). De estos estimados, Waldroup et al. (2007) calcularon el promedio ponderado del contenido de EMV_n de los DDGS en 2,851 kcal/kg. Diversos investigadores han calculado la energía metabolizable aparente (EMA_n) de los DDGS que promedia aproximadamente 2,728 kcal/kg (**cuadro 11**). Adeola y Ileleji (2009) obtuvieron los valores de EM y de EM_n (kcal/kg) de muestras de DDGS de maíz de 3,013 y 2,963, respectivamente, cuando se utilizó una dieta semipurificada libre de nitrógeno como dieta basal, y 2,904 y 2,787, respectivamente, cuando se utilizó como dieta basal una dieta práctica de maíz y harina de soya. Estos resultados diferentes indican que los nutriólogos deben tener la debida precaución con respecto a las fuentes de datos de los valores de EM de los DDGS de maíz al formular dietas que contengan esta materia prima. Batal y Dale (2006)

desarrollaron ecuaciones de predicción para la EMV_n estimada en los DDGS de proteína cruda, grasa y fibra (**cuadro 12**), pero los valores R² son bajos y no confiables para estimar el contenido de energía de este ingrediente para la formulación de dietas avícolas. Sin embargo, Rochelle et al. (2011) desarrollaron ecuaciones de predicción de la EMA_n para DDGS con una R² relativamente alta como sigue:

$$\text{EMA}_n, \text{ kcal/kg de MS} = 3,517 - (33.27 \times \% \text{ hemicelulosa, base MS}) + (46.02 \times \% \text{ grasa cruda, base MS}) - (82.47 \times \% \text{ cenizas, base MS}) \quad R^2 = 0.89$$

La hemicelulosa se calcula al restar el contenido de FAD del FND. Si no, también se puede usar la siguiente ecuación.

$$\text{EMA}_n, \text{ kcal/kg de MS} = (-30.19 \times \% \text{ FND, base MS}) + (0.81 \times \text{energía bruta, kcal/kg base MS}) - (12.26 \times \% \text{ proteína cruda, base MS}) \quad R^2 = 0.87$$

Las dos ecuaciones anteriores también proporcionan estimados precisos de EMA_n no sólo de los DDGS, sino de los DDGS reducidos en aceite y otros coproductos para aves, los cuales se analizan en el **Capítulo 20**. Adeola y Zhai (2012) mostraron que la energía digestible ileal, ME, y EM_n fueron de 20, 23 y 24% mayor para los DDGS que para los DDG (granos secos de destilería sin solubles), respectivamente.

Cuadro 10. Cálculos de contenido de energía metabolizable verdadera (EMV_n kcal/kg) entre fuentes de DDGS¹.

Referencia	N	Alta	Baja	Promedio	Especie
NRC(1994)	1	-	-	2,864	Todos
Roberson et al. (2003)	1	-	-	2,800	Pavos
Lumpkins et al. (2004)	1	-	-	2,906	Pollos de engorda
Batal y Dale (2004)		2,380	3,079	2,831	Gallinas de postura
Noll (2005)	1	-	-	2,980	Pavos
Roberson et al. (2005)	1	-	-	2,884	Gallinas de postura
Parsons et al. (2006)	20	2,606	3,054	2,864	Gallinas de postura
Batal y Dale (2006)	17	2,496	3,197	2,827	Gallinas de postura
Fastinger et al. (2006)	5	2,485	3,047	2,871	Gallinas de postura
Waldroup et al. (2007)	1	-	-	2,851	Pollos de engorda
Hong et al. (2008)		2,863	2,976	2,904	Pollos de engorda

¹ Adaptado de Waldroup et al. (2007) y Salim et al. (2010).

Cuadro 11. Cálculos de contenido de energía metabolizable aparente (EMA_n kcal/kg) entre fuentes de DDGS¹.

Referencia	N	Promedio	Especie
NRC(1994)	1	2,840	Todos
Roberson et al. (2003)	1	2,756	Pavos
Noll (2005)	1	2,760	Pavos
Roberson et al. (2005)	1	2,770	Gallinas de postura
Waldroup et al. (2007)	1	2,770	Pollos de engorda
Applegate et al. (2009)	1	2,526	Pollos de engorda
Rochelle et al. (2011)	6	2,148 - 3,098	Pollos de engorda

¹ Adaptado de Salim et al. (2010).

Cuadro 12. Ecuaciones para predecir la energía metabolizable verdadera (kcal/kg) de DDGS del contenido de proteína cruda (PC), grasa, fibra y cenizas¹.

Ecuación	R ²
EMV _n = 2439.4 + 43.2 x grasa	0.29
EMV _n = 2957.1 + 43.8 x grasa – 79.1 x fibra	0.43
EMV _n = 2582.3 + 36.7 x grasa – 72.4 x fibra + 14.6 x PC	0.44
EMV _n = 2732.7 + 36.4 x grasa – 76.3 x fibra + 14.5 x PC – 26.2 x cenizas	0.45

¹ Batal y Dale, 2006.

Fiene et al. (2006) utilizaron análisis de regresión por pasos de 150 muestras de DDGS para desarrollar ecuaciones de predicción para el cálculo del contenido de aminoácidos a partir de la proteína cruda, grasa y fibra (**cuadro 13**). Sin embargo, son bajos los valores R² de varias ecuaciones de predicción (arginina, cistina, lisina y triptófano), lo cual indica que el uso de estas ecuaciones no va a proporcionar una estimación precisa de aminoácidos a partir de los componentes proximales clave.

Cuadro 13. Ecuaciones para predecir el contenido de aminoácidos de los DDGS a partir de la proteína cruda (PC), grasa y fibra¹.

Aminoácido	Ecuación	R ²
Arginina	Y = 0.07926 + 0.0398 x PC	0.48
Isoleucina	Y = -0.23961 + 0.04084 x PC + 0.01227 x grasa	0.86
Leucina	Y = -1.15573 + 0.13082 x PC + 0.06983 x grasa	0.86
Lisina	Y = -0.41534 + 0.04177 x PC + 0.00913 x fibra	0.45
Metionina	Y = -0.17997 + 0.02167 x PC + 0.01299 x grasa	0.78
Cistina	Y = 0.11159 + 0.01610 x PC + 9.00244 x grasa	0.52
TSAA	Y = -0.12987 + 0.03499 x PC + 0.05344 x grasa – 0.00229 x grasa ²	0.76
Treonina	Y = -0.05630 + 0.03343 x PC + 0.02989 x grasa – 0.00141 x grasa ²	0.87
Triptófano	Y = 0.01676 + 0.0073 x PC	0.31
Valina	Y = 0.01237 + 0.04731 x PC + 0.00054185 x grasa ²	0.81

¹ Fiene et al, 2006.

Para poder tener el mayor valor cuando se utilicen DDGS en dietas avícolas, es importante determinar y usar estimados precisos de los aminoácidos digestibles de esta materia prima.

Waldroup resumió resultados de los estudios de Fiene et al. (2006), Parsons et al. (2006), Fastinger et al. (2006), y Batal y Dale (2006) sobre la digestibilidad de aminoácidos de los DDGS. Los coeficientes de digestibilidad promedio de aminoácidos se muestran en el **cuadro 14**. Un método *in vitro* que se está utilizando para estimar la digestibilidad de aminoácidos en los DDGS para aves es el ensayo IDEA™, de NOVUS International (St. Louis, MO, EUA). Los resultados de Schasteen et al. (2005) y Fiene et al. (2006) mostraron que IDEA™ predice de manera razonable la digestibilidad de la lisina en los DDGS para aves, pero fueron bajas las correlaciones entre la digestibilidad estimada *in vivo* y *in vitro* de otros aminoácidos.

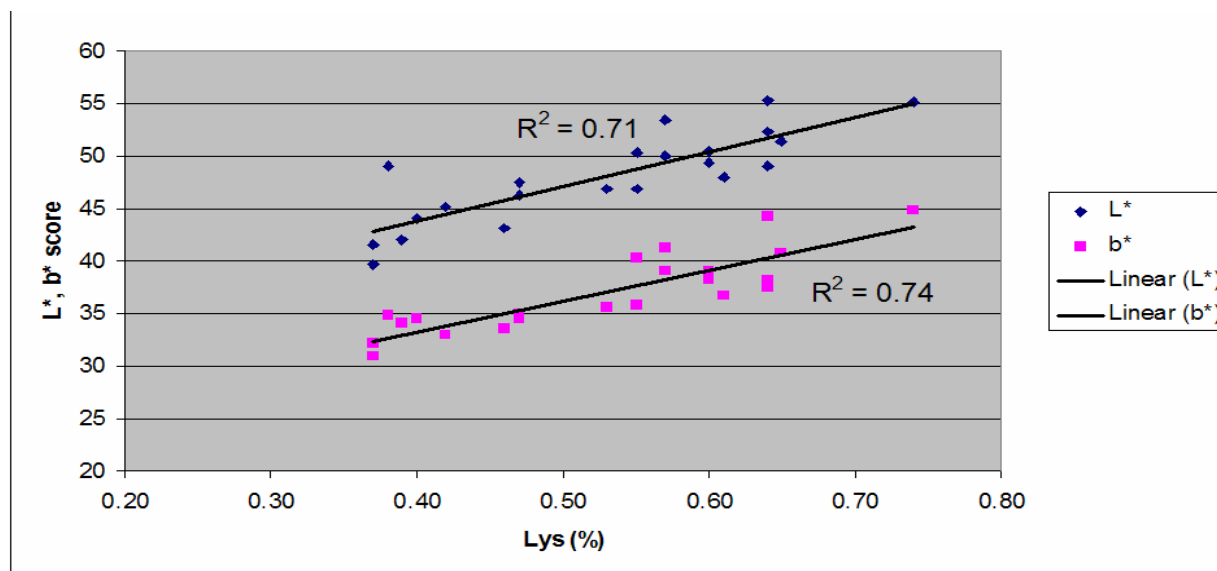
Cuadro 14. Coeficientes de aminoácidos digestibles (%) de los DDGS para aves¹.

Nutriente	Promedio ponderado
Arginina	85.3
Histidina	84.5
Isoleucina	82.2
Leucina	89.3
Lisina	68.5
Metionina	86.8
Cistina	77.3
Fenilalanina	87.7
Treonina	75.1
Triptofano	84.1
Valina	81.4
Serina	82.8

¹ Waldroup et al., 2007.

La determinación del color de las muestras de los DDGS ha sido otro método utilizado para estimar aminoácidos, especialmente lisina, entre fuentes de DDGS para aves (Cromwell et al., 1993; Ergul et al., 2003; Batal y Dale, 2006; Fastinger et al., 2006). La claridad y el amarillo del color de los DDGS parecen ser predictores razonables del contenido de lisina digestible entre fuentes de DDGS de maíz para aves (**figura 2**; Ergul et al., 2003). La digestibilidad verdadera de la lisina entre las fuentes de DDGS estuvo entre 59 y 83% para aves (Ergul et al., 2003). Batal y Dale (2006) mostraron que las fuentes de DDGS más claras ($L^* = 60.3$) y con más color amarillo ($b^* = 25.9$) representaron las fuentes de DDGS con una digestibilidad promedio de lisina de 0.66% y las que eran más oscuras ($L^* = 50.4$) y menos amarillas ($b^* = 7.41$) en color tuvieron una digestibilidad baja de lisina (0.18%). Estos resultados indican que se pueden utilizar las mediciones de color para diferenciar la digestibilidad de la lisina por arriba y por abajo del promedio entre las fuentes de DDGS, pero puede no ser lo suficientemente preciso para estimar los valores de digestibilidad de lisina para una buena formulación de la dieta. Para más información con relación al uso del color del DDGS como un indicador de la digestibilidad de aminoácidos, refiérase al **Capítulo 8**.

Figura 2. Regresión de la lisina digestible (%) y color (L^* , b^*)



Fuente: Ergul et al. (2003).

Hay una cantidad significativa de fósforo total y disponible en los DDGS, pero varía entre las fuentes (Singsen et al., 1972; Martínez-Amezcuca et al., 2004; Lumpkins y Batal, 2005). Singsen et al., 1972 mostraron que los DDGS de la producción de bebidas alcohólicas tienen la misma biodisponibilidad de fósforo que se encuentra en el fosfato dicálcico. Martínez-Amezcuca et al. (2004) mostraron que la biodisponibilidad de fósforo puede variar de 69 a 102% con relación al KH_2PO_4 y que las mayores temperaturas durante la producción de DDGS aumentan la biodisponibilidad de fósforo, pero disminuyen la digestibilidad de lisina. Lumpkins y Batal, (2005) notificaron estimados de disponibilidad relativa del fósforo del 68 y el 54% en dos experimentos diferentes. Con base en estos resultados, Waldroup (2007) indicó que la biodisponibilidad promedio relativa del fósforo en los DDGS es de 62% para las aves. Tahir et al. (2012) desarrollaron una ecuación de predicción para estimar el contenido de fósforo fítico en los DDGS como sigue:

$$\text{P de fitato en DDGS (\%)} = 0.4447 + (0.9696 \times \% \text{ Ca}) - (0.0149 \times \% \text{ FAD}) + (0.0064 \times \% \text{ FND}) - (0.025 \times \% \text{ grasa cruda})$$

El contenido de sodio de los DDGS de maíz puede estar en un intervalo de 0.01 - 0.48%, con un promedio del 0.11%. Por lo tanto, puede ser necesario hacer ajustes en el contenido de sodio de la dieta, si la fuente de DDGS de maíz utilizada contiene niveles altos de sodio, para así evitar problemas de cama húmeda y huevos sucios.

Los DDGS de maíz pueden contener hasta 40 ppm de xantofilas. Se ha demostrado en estudios comerciales de campo y de investigación universitarios que el contenido de xantofilas de los DDGS de maíz aumenta significativamente el color de la yema de huevo cuando se alimentan a las gallinas ponedoras (Shurson et al., 2003 y Roberson et al., 2005, respectivamente) y aumentan el color de la piel de los pollos de engorda cuando se incluyen niveles del 10% de la dieta.

Conclusiones

La variabilidad en el contenido y digestibilidad de nutrientes entre las fuentes de DDGS puede presentar un desafío cuando se determina el valor económico y alimenticio para el ganado y las aves. No obstante, se han desarrollado nuevas "herramientas" nutricionales, muchas de las cuales se encuentran en el mercado para estimar de manera rápida, precisa y barata el contenido de nutrientes totales y digestibles de las fuentes específicas de DDGS. La composición y la digestibilidad de nutrientes en esta ficha pueden ser de utilidad cuando se evalúan las fuentes de DDGS y se determinan los valores razonables de carga de nutrientes a usarse al formular dietas para el ganado y la avicultura.

Bibliografía

- Adeola, O., and K.E. Ileleji. 2009. Comparison of two diet types in the determination of metabolizable energy content of corn distillers dried grains with soluble for broiler chickens by the regression method. *Poul. Sci.* 88:579-585.
- Adeola, O., and H. Zhai. 2012. Metabolizable energy value of dried corn distillers grains and corn distillers grains with soluble for 6-week-old broiler chickens. *Poul. Sci.* 91:712-718.
- Almeida, F.N., and H.H. Stein. 2012. Effects of graded levels of microbial phytase on the standardized total tract digestibility of phosphorus in corn and corn coproducts fed to pigs. *J. Anim. Sci.* 90:1262-1269.
- Applegate, T.J., C. Troche, Z. Jiang, and T. Johnson. 2009. The nutritional value of high protein corn distillers dried grains for broiler chickens and its effects on nutrient excretion. *Poul. Sci.* 88:354-359.
- Batal, A.B., and N.M. Dale. 2004. True metabolizable energy and amino acid digestibility of distillers dried grains with solubles. Poster #118, Joint Annual Meeting abstracts pp. 317-318.
- Batal, A. and N. Dale. 2006. True metabolizable energy and amino acid digestibility of distillers dried grains with soluble. *J. Appl. Poult. Res.* 15:89-93.
- Boucher, S.E., S. Calsamiglia, C.M. Parsons, H.H. Stein, M.D. Stern, P.S. Erickson, P.L. Utterback, and C.G. Schwab. 2009. Intestinal digestibility of amino acids in rumen-undegraded protein estimated using a precision-fed cecectomized rooster bioassay: II. Distillers dried grains with soluble and fish meal. *J. Dairy Sci.* 92:6056-6067.
- Burnell, T.W., G.L. Cromwell, and T.S. Stahly. 1989. Bioavailability of phosphorus in dried whey, blood meal, and distillers grains for pigs. *J. Anim. Sci.* 67(Suppl. 1):262.
- Cromwell, G.L., K.L. Herkelman, and T.S. Stahly. 1993. Physical, chemical, and nutritional characteristics of distillers dried grains with solubles for chicks and pigs. *J. Anim. Sci.* 71:679-686.
- Ergul, T., C. Martínez Amezcua, C. M. Parsons, B. Walters, J. Brannon and S. L. Noll, 2003. Amino acid digestibility in corn distillers dried grains with solubles. *Poultry Sci.* 82 (Suppl. 1): 70.
- Erickson, G.E., T.J. Klopfenstein, D.C. Adams, and R.J. Rasby. 2005. Utilization of Corn Co-Products in the Beef Industry. Nebraska Corn Board and the University of Nebraska. www.nebraskacorn.org. 17 pp.
- Fastinger, N. D., and D.C. Mahan. 2006. Determination of the ileal amino acid and energy digestibilities of corn distillers dried grains with solubles using grower-finisher pigs. *J. Anim. Sci.* 84:1722-1728.

- Fastinger, N.D., J.D. Latshaw, and D.C. Mahan. 2006. Amino acid availability and true metabolizable energy content of corn distillers dried grains with soluble in adult cecectomized roosters. *Poult. Sci.* 85:1212-1216.
- Fiene, S.P., T.W. York, and C. Shasteen. 2006. Correlation of DDGS IDEA™ digestibility assay for poultry with cockerel true amino acid digestibility. Pp. 82-89 In: *Proc. 4th Mid-Atlantic Nutrition Conference*. University of Maryland, College Park, MD.
- Ham, G.A., R.A. Stock, T.J. Klopfenstein, E.M. Larson, D.H. Shain, and R.P. Huffman. 1994. Wet corn distillers co-products compared with dried distillers grains with soluble as a source of protein and energy for ruminants. *J. Anim. Sci.* 72:3246.
- Hong, E.C., W.T. Chung, G.H. Kang, H.D. Park, O.S. Suh, J.C. Na, W. Kim, W.G. Nho, and J. Hwangbo. 2008. Evaluation of true metabolizable energy and the effect of corn distillers dried rains with soluble in the diets on broiler performance and nutrient availability. *Korean J. Poul. Sci.* 35:381-389.
- Kim, B.G., Y. Zhang, and H.H. Stein. 2010. Concentrations of analyzed or reactive lysine, but not crude protein, may predict the concentration of digestible lysine in distillers dried grains with soluble fed to pigs. *J. Anim. Sci.* 88(E-Suppl. 3):104 (Abstr.)
- Lan, Y., F.O. Opapeju, and C.M. Nyachoti. 2008. True ileal protein and amino acid digestibilities in wheat dried distillers' grains with solubles fed to finishing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 140:155-163.
- Lumpkins, B.S., A.B. Batal, and N.M. Dale. 2004. Evaluation of distillers dried grains with soluble as a feed ingredient for broilers. *Poul. Sci.* 83:1891-1896.
- Lumpkins, B.S. and A. Batal. 2005. The bioavailability of lysine and phosphorus in distiller's dried grains with soubles. *Poultry Sci.* 84:581-586
- Martínez-Amezcuca, C., C.M. Parsons, and D.H. Baker. 2006. Effect of microbial phytase and citric acid on phosphorus availability, apparent metabolizable energy and amino acid digestibility in distillers dried grains with soluble in chicks. *Poult. Sci.* 85:470-475.
- Martínez-Amezcuca, C., C.M. Parsons, and S.L. Noll. 2004. Content and relative bioavailability of phosphorus in distillers dried grains with soluble in chicks. *Poultry Sci.* 83:971-976.
- Mjoun, K., K.F. Kalscheur, A.R. Hippen, and D.J. Schingoethe. 2010. Ruminal degradability and intestinal digestibility of protein and amino acids in soybean and corn distillers grains products. *J. Dairy Sci.* 93:4144-4154.
- Noll, S.L., J. Brannon, J.L. Kalbfleisch, and K.D. Roberson. 2005. Metabolizable energy value for corn distillers dried grains with soluble in turkey diets. *Poul. Sci.* 84(Suppl. 1) (Abstr.).
- Noll, S., C. Parsons, and B. Walters. 2006. What's new since September 2005 in feeding distillers co-products to poultry. *Proc. 67th Minnesota Nutrition Conference & University of Minnesota Research Update Session: Livestock Production in the New Millennium.* pp. 149-154.
- National Research Council. 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th Rev. Ed. National Academy Press, Washington, DC.
- National Research Council. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th Rev. Ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Nuez-Ortin, W.G., and P. Yu. 2011. Using the NRC chemical summary and biological approaches to predict energy values of new co-products from bio-ethanol production for dairy cows. *An. Feed Sci. Tech.* 170:165-170.
- Olentine, C. 1986. Ingredient profile: Distillers feeds. *Proc. Distillers Feed Conf.* 41:13-24.
- Pahm, A.A., C. Pedersen, D. Hoehler, and H.H. Stein. 2008a. Factors affecting the variability in ileal amino acid digestibility in corn distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 86:2180-2189.
- Pahm, A.A., C. Pedersen, and H.H. Stein. 2008b. Application of the reactive lysine procedure to estimate lysine digestibility in distillers dried grains with soluble fed to growing pigs. *J. Agric. Food Chem.* 56:9441-9446.

- Pahm, A.A., C.S. Scherer, J.E. Pettigrew, D.H. Baker, C.M. Parsons, and H.H. Stein. 2009. Standardized amino acid digestibility in cecectomized roosters and lysine bioavailability in chicks fed distillers dried grains with solubles. *Poul. Sci.* 88:571-578.
- Parsons, C.M., C. Martínez, V. Singh, S. Radhadkrishman, and S. Noll. 2006. Nutritional value of conventional and modified DDGS for poultry. *Proc. Multi-State Poul. Nutr. Feeding Conf.*, Indianapolis, IN.
- Pederson, C., A. Pahm, and H.H. Stein. 2005. Effectiveness of *in vitro* procedures to estimate CP and amino acid digestibility coefficients in dried distillers grain with solubles by growing pigs. *J. Anim. Sci. (Suppl. 2)* 83:39.
- Pedersen, C., M.G. Boersma, and H.H. Stein. 2007. Digestibility of energy and phosphorus in 10 samples of distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 85:1168-1176.
- Powers, W.J., H.H. Van Horn, B. Harris, Jr., and C.J. Wilcox. 1995. Effects of variable sources of distillers grains plus solubles on milk yield and composition. *J. Dairy Sci.* 78:388-396.
- Reese, D.E. and A.J. Lewis. 1989. Nutrient content of Nebraska corn. Nebraska Cooperative Extension Service EC 89-219, pp. 5-7.
- Roberson, K.D. 2003. Use of distillers grains with soluble in growing-finishing diets of turkey hens. *Int'l. J. Poul. Sci.* 2:389-393.
- Roberson, K.D., J.L. Kalbfleisch, W. Pan and R.A. Charbeneau, 2005. Effect of corn distiller's dried grains with solubles at various levels on performance of laying hens and yolk color. *Intl. J. Poultry Sci.* 4(2):44-51.
- Rochell, 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. *Poul. Sci.* 90:1999-2007.
- Salim, H.M., Z.A. Kruk, and B.D. Lee. 2010. Nutritive value of corn distillers dried grains with soluble as an ingredient of poultry diets: A review. *World Poul. Sci. J.* 66:411-432.
- Schasteen, C., J. Wu, and C. Parsons. 2005. Enzyme-based protein digestibility (IDEA™) assay accurately predicts poultry *in vivo* lysine digestibility for distiller's dried grain and solubles (DDGS). *J. Anim. Sci. (Suppl. 2)* 83:39.
- Schingoethe, D.J. 2004. Corn Co-products for Cattle. *Proceedings from 40th Eastern Nutrition Conference*, May 11-12, Ottawa, ON, Canada. pp 30-47.
- Shurson, G.C., C. Santos, J. Aguirre, and S. Hernández. 2003. Effects of Feeding Babcock B300 Laying Hens Conventional Sanfandila Layer Diets Compared to Diets Containing 10% Norgold DDGS on Performance and Egg Quality. A commercial field trial sponsored by the Minnesota Corn Research and Promotion Council and the Minnesota Department of Agriculture.
- Singsen, E.P., L.D. Matterson, and J.J. Tlustohowicz. 1972. The biological availability of phosphorus in distillers dried grains with soluble for poultry. *Proc. Distillers Res. Council* 27:46-49, Cincinnati, OH.
- 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.
- Stein, H.H., C. Pedersen, and M.G. Boersma. 2005. Energy and nutrient digestibility in dried distillers grain with solubles. *J. Anim. Sci.* 83(Suppl. 2):79. (Abstr.)
- Stein H.H., M.L. Gibson, C. Pedersen, and M.G. Boersma. 2006. Amino acid and energy digestibility in ten samples of distillers dried grain with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 84: 853-860.
- Stein, H.H. 2007. Distillers dried grains with solubles (DDGS) in diets fed to swine. *Swine Focus* #001. University of Illinois Urbana-Champaign IL.
- Stein, H.H. and G.C. Shurson. 2009. Board invited review: The use and application of distillers dried grains with solubles (DDGS) in swine diets. *J. Anim. Sci.* 87:1292-1303.

- Stein, H.H. 2011. Use of corn co-products in diets fed to swine. Proc. 72nd Minnesota Nutrition Conference, September 21-22, Owatonna, MN, p. 47-61.
- Tahir, M., M.Y. Shim, N.E. Ward, C. Smith, E. Foster, A.C. Guney, and G.M. Pesti. 2012. Phytate and other nutrient components of feed ingredients for poultry. Poul. Sci. 91:928-935.
- Tjardes, J. and C. Wright. 2002. [Feeding corn distiller's co-products to beef cattle](#). SDSU Extension Extra. ExEx 2036, Dept. of Animal and Range Sciences. pp. 1-5.
- Urriola, P.E, D. Hoehler, C. Pedersen, L.J. Johnston, and G.C. Shurson. 2007a. Prediction of in vivo amino acid digestibility of dried distillers grains with solubles (DDGS) from selected physical and chemical characteristics. J. Anim. Sci. 85(Suppl.2):72.
- Urriola, P.E., D. Hoehler, C. Pedersen, H.H. Stein, L.J. Johnston, and G.C. Shurson. 2007b. Prediction of in vivo amino acid digestibility in dried distillers grains with solubles (DDGS) from crude protein, optical density, and fluorescence. J. Anim. Sci. 85(Suppl.2):31.
- Urriola, P. E., D. Hoehler, C. Pedersen, H. H. Stein, L. J. Johnston, and G. C. Shurson. 2007c. Amino acid digestibility by growing pigs of distillers dried grain with solubles produced from corn, sorghum, or a corn-sorghum blend. J. Anim. Sci. 85(Suppl. 2):71. (Abstr.)
- Urriola, P.E., D. Hoehler, C. Pedersen, H.H. Stein, and G.C.Shurson. 2009. Amino acid digestibility of distillers dried grains with soluble, produced from sorghum, a sorgum-corn blend, and corn fed to growing pigs. J. Anim. Sci. 87:2574-2580.
- 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.
- Urriola, P.E., and H.H. Stein. 2010. Effect of distillers dried grains with soluble on amino acid, energy, and fiber digestibility and on hindgut fermentation of dietary fiber in a corn-soybean meal diet fed to growing pigs. J. Anim. Sci. 88:1454-1462.
- Waldroup, P.W., Z. Wang, C. Coto, S. Cerrate, and F. Yan. 2007. Development of a standardized nutrient matrix for corn distillers dried grains with soluble. Int. J. Poult. Sci. 6:478-483.
- Whitney, M.H., and G.C. Shurson. 2001. Availability of phosphorus in distillers dried grains with solubles for growing swine. J. Anim. Sci. 79(Suppl. 1):108.
- Widyaratne, G.P., and R.T. Zijlstra. 2007. Nutritional value of wheat and corn distillers dried grain with solubles: Digestibility and digestible contents of energy, amino acids and phosphorus, nutrient excretion and growth performance of grower-finisher pigs. Can. J. Anim. Sci. 87:103-114.