

Capítulo 8

¿Es el color el único o el mejor indicador de la calidad de los DDGS?

¿Por qué el color de los DDGS es una cuestión de calidad?

No existen sistemas de calificación o normas definidas o reglamentarias de la calidad de los DDGS, como los hay para el maíz (por ejemplo, U.S. #2) y otros granos *commodities* de EUA. Como resultado, puede haber malentendidos entre compradores y vendedores de DDGS de EUA de todo el mundo. Cuando no existen normas de calidad se torna problemático el establecimiento de los precios, los contratos por escrito y el cumplimiento de las expectativas. Aunque durante esta última década los profesionales de la industria, gobierno y universidades han analizado e intentado desarrollar normas de calidad para las DDGS, los intentos no han logrado nada debido a los desacuerdos en la necesidad de definir normas de calidad y tal vez por el miedo de una mayor transparencia y la capacidad de distinguir las diferencias de calidad y valor entre las fuentes de DDGS. La mayor parte de los comercializadores de DDGS de EUA prefieren centrarse solamente en las garantías máximas de humedad y fibra, y las garantías mínimas de grasa y proteína. No obstante, debido a la variabilidad en el contenido de nutrientes y en la calidad entre las fuentes de DDGS de EUA, muchos compradores internacionales de esta materia prima a menudo exigen más garantías de atributos de calidad específicos para minimizar el riesgo de obtener coproductos que no cumplan con sus expectativas.

El color de los DDGS se ha convertido en un factor de calidad de gran importancia para algunos compradores en el mercado de exportaciones, el cual se utiliza para diferenciar la calidad real o percibida, así como el valor entre las diferentes fuentes. Hace varios años, algunos comercializadores y compradores de DDGS desarrollaron un sistema subjetivo de evaluación de color mediante una tarjeta de calificación de 5 colores (**figura 1**) para diferenciar el color entre las fuentes de DDGS. Aunque hoy en día todavía se usa esta tarjeta de calificación de color de los DDGS en el mercado, muchos comercializadores la han dejado de usar porque es demasiado subjetiva y resulta en discusiones frecuentes con los compradores, debido a las diferentes interpretaciones de la calificación de color real de este ingrediente. Como resultado, muchos de los contratos de comercialización que ahora se negocian entre proveedores de EUA y compradores extranjeros (especialmente de países asiáticos) contienen una garantía mínima de una medición de calidad cuantitativa de color (por ejemplo, L^* - color claro u oscuro). La garantía mínima que actualmente se usa para diferenciar la claridad del color de los DDGS es un Hunter $L^* > 50$, la cual cubre algunas de las expectativas de los compradores. Cada vez más cantidades de DDGS de EUA se exportan a varios países sin importar el color, pero para algunos mercados que exigen una garantía de un color claro (por ejemplo, $L^* > 50$), hay una prima de precio importante obtenida de aquellos que puedan garantizarla en las fuentes que comercializan.

Como resultado, algunos proveedores de este país se sienten frustrados y cuestionan el valor de utilizar el color de los DDGS como un indicador de calidad, especialmente si no pueden suministrar un ingrediente que cumpla con las expectativas de color del comprador. Por lo tanto, el propósito de este capítulo es definir la calidad de los DDGS y el papel que desempeña

el color como indicador de la calidad en el mercado, así como proporcionar una descripción de una gran variedad de otras características y mediciones de calidad que se pueden usar para evaluar el valor de este ingrediente.

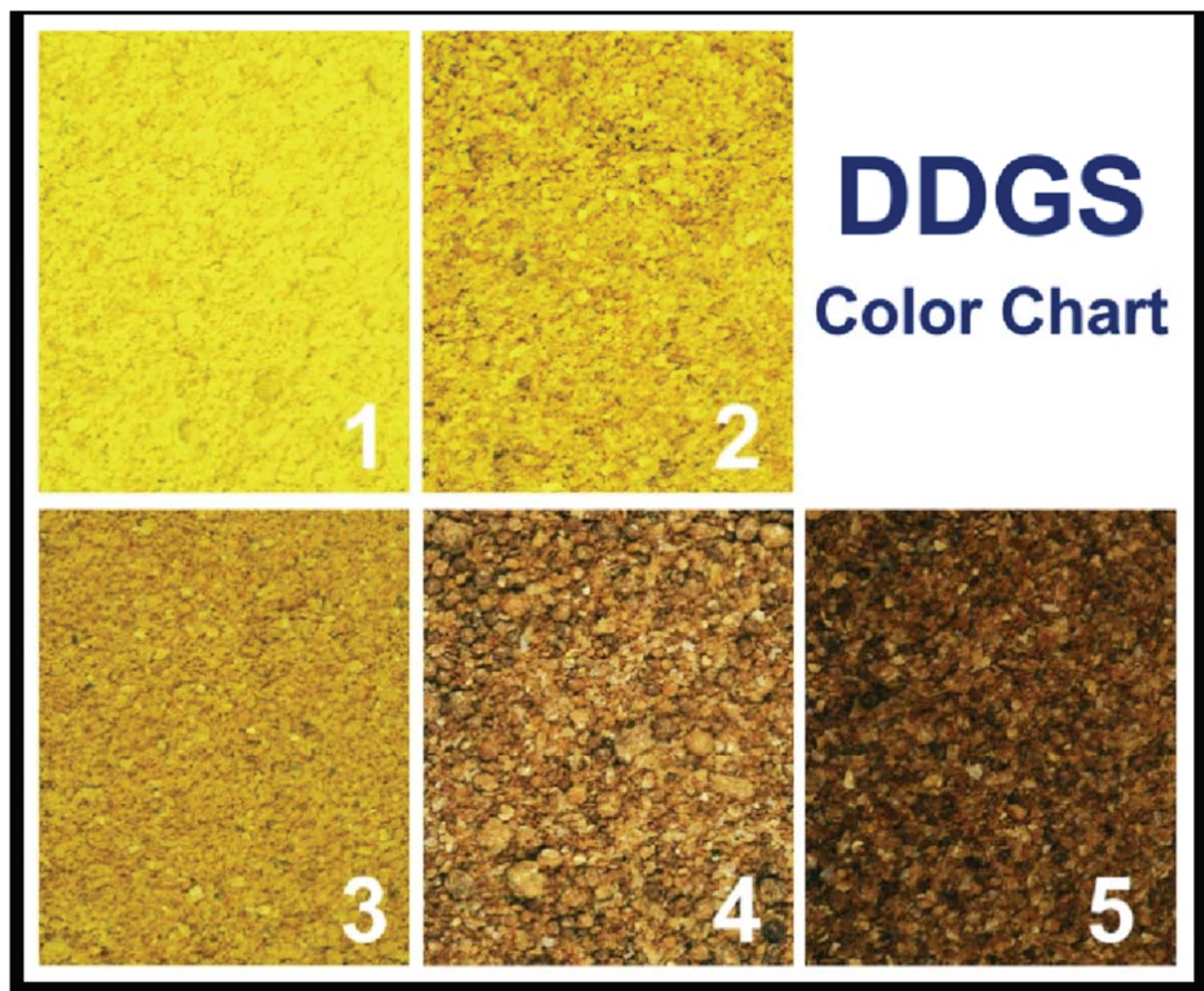


Figura 1. Ejemplo de tarjeta de calificación de color de los DDGS.

¿Qué es la calidad?

Hay muchas definiciones de calidad. La calidad se define como una característica esencial o inherente que representa el grado de excelencia, superioridad o de un atributo distintivo (<http://www.merriam-webster.com/dictionary/quality>).

En el contexto de los negocios (<http://www.businessdictionary.com/definition/quality.html>), la calidad se ha definido como una medición general de la excelencia o del estado de estar libre de defectos, deficiencias y variaciones significativas. La norma ISO 8402-1986 define calidad como "la totalidad de características de un producto o servicio que conlleva la capacidad de satisfacer las necesidades declaradas o implícitas." En el contexto de la fabricación, calidad se define como la observancia estricta y consistente de normas mensurables y verificables para lograr uniformidad de la producción que satisfaga los requerimientos específicos del cliente o

usuario. La calidad se puede determinar objetivamente mediante criterios que son mensurables y de manera subjetiva, que puedan ser características que se puedan observar y que puedan aproximarse, pero no medirse. Como resultado, la calidad es un término general que se refiere a las características deseables de las cosas materiales y que puede significar diferentes cosas para las diferentes personas

¿Cómo se determina la calidad de los ingredientes y de los alimentos balanceados?

Los fabricantes de alimentos balanceados y los productores pecuarios utilizan una gran variedad de métodos cualitativos y cuantitativos para evaluar la calidad de los ingredientes y los alimentos, entre los que se encuentran pruebas físicas, químicas y biológicas. La evaluación física de los alimentos balanceados es cualitativa, pero se usa para identificar cambios en la naturaleza de las materias primas o los alimentos mismos. Las características físicas comúnmente evaluadas incluyen el color, tamaño de partícula, densidad de masa, homogeneidad, olor, sabor, tacto y sonido. La presencia de otros granos, semillas de malezas, cascarillas y arena son los contaminantes físicos más comunes que se pueden identificar mediante evaluación física.

Las pruebas químicas son cuantitativas y permiten una estimación precisa del contenido de nutrientes y los posibles contaminantes. Para evaluar la calidad, se considera como una práctica común utilizar un laboratorio comercial para determinar el análisis proximal de los ingredientes. Estas mediciones por lo general incluyen la humedad, proteína cruda, fibra cruda, grasa cruda y cenizas. Las especificaciones de ingredientes (contenido de nutrientes) son esenciales para los programas de aseguramiento de la calidad de la fabricación de alimentos balanceados, porque sirven de base para los acuerdos de compra por escrito, la evaluación de la calidad y hasta cierto punto, la formulación de las dietas. Estas especificaciones de nutrientes son las normas que debe cumplir el ingrediente suministrado en cuanto a las expectativas, que a veces incluyen mediciones de algunos posibles contaminantes de preocupación (por ejemplo, micotoxinas o dioxinas).

La microscopia de alimentos balanceados también se utiliza a veces para determinar si los alimentos o sus ingredientes han sido adulterados o contienen contaminantes. Implica el examen de muestras de ingredientes con un microscopio bajo aumento (8x a 50x) o alto (100x a 500x) para evaluar la forma, color, tamaño de partículas, suavidad, dureza y textura de los alimentos.

También se hace la evaluación biológica de los ingredientes de alimentos balanceados, pero por lo general se limita a las universidades o a las grandes compañías de alimentos con instalaciones de investigación de animales y de laboratorio. Implica la utilización de animales y personal con capacitación especializada para realizar pruebas de digestión y metabolismo en varias especies animales. Estos métodos llevan mucho tiempo, son caros, y como resultado, no se pueden usar como procedimientos de rutina, como parte del programa de control de calidad de la fabricación de alimentos balanceados. Sin embargo, proporcionan la mejor evaluación de la calidad y del valor alimenticio de los ingredientes, en comparación con todos los otros métodos.

De esta manera, la calidad es un término general que se refiere a las características deseables de las cosas materiales y que puede significar diferentes cosas para las diferentes personas. Para algunos, la calidad de los DDGS se puede referir a la ausencia de micotoxinas y de otros

factores antinutricionales no deseables que pueden ser dañinos para la salud y el desempeño animal. Para otros, se puede referir a la consistencia del contenido de nutrientes y de su digestibilidad. Mediante estas definiciones, el color puede y es usado en algunos mercados para definir la calidad de los DDGS.

¿Por qué se mide el color?

Durante varias décadas, el color se ha usado como un indicador subjetivo de la calidad nutricional de los ingredientes de alimentos balanceados. Los aminoácidos libres (especialmente la lisina) pueden someterse a reacciones de Maillard al combinarse con azúcares reductores, lo que va a tornarlos indigeribles para el animal. Louis Camille Maillard descubrió y describió la primera prueba de estas reacciones químicas entre los azúcares y los aminoácidos en 1912. Las reacciones de Maillard son un grupo de reacciones químicas que suceden cuando se calientan los azúcares y aminoácidos, así como carbohidratos complejos y amidas. Estas reacciones generalmente se dan cuando los ingredientes con contenido de proteína de mediano a alto se sobrecalientan durante la producción y el proceso de secado, las cuales se pueden caracterizar por el oscurecimiento del color (encafecimiento), sabor y olor a quemado. Las temperaturas de secado utilizadas en las plantas de etanol de molienda en seco pueden ir de 127 a 621° C. La importancia nutricional de las reacciones de Maillard en los DDGS ya se ha mostrado en rumiantes (Klopfenstein y Britton, 1987), así como en cerdos y aves (Cromwell *et al.*, 1993), además de que es responsable de las pérdidas de la calidad de la proteína en los DDGS (Cromwell *et al.*, 1993; Fastinger y Mahan 2006; Stein *et al.*, 2006). Las reacciones de Maillard también se dan en otros ingredientes comunes, tales como el suero deshidratado, harina de sangre y harina de soya. El oscurecimiento del color de estos ingredientes también indica un sobrecalentamiento y una reducción de la calidad de la proteína. Por lo tanto, compradores y fabricantes de ingredientes de alimentos balanceados han sido capacitados para utilizar el color como un indicador general para diferenciar la calidad y digestibilidad de la proteína entre las fuentes de ingredientes.

Además, el color puede ser una indicación de la madurez del grano, condiciones de almacenamiento, presencia de toxinas, contaminación con arena y la posible utilización de insecticidas o fungicidas que le dan la apariencia mate y polvosa. El sorgo de color anaranjado a rojo puede indicar que tiene un alto contenido de taninos. El encafecimiento o ennegrecimiento de los granos y sus coproductos puede ser indicativo de un tratamiento térmico excesivo o de descomposición debido a un mal almacenamiento, por lo que se reduce su valor nutritivo. El color negro de la harina de pescado puede indicar rancidez del aceite de pescado.

¿Cómo se mide el color?

Los colorímetros Hunter y Minolta se han utilizado durante muchos años en la industria de alimentos para consumo humano como indicadores de las características

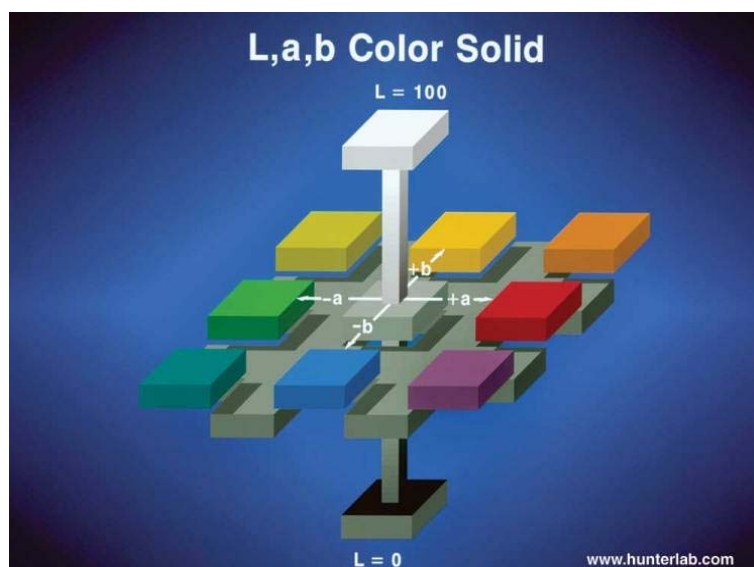


Figura 2. Escala de medición de color de Hunter Lab.

nutricionales y físicas de los productos procesados térmicamente, tales como las barras de chocolate y dulce, galletas y pan. En estos productos alimenticios, con frecuencia el color es un atributo importante de calidad que determina el atractivo del producto para el consumidor. El color se mide mediante la lectura de tres características de color específicamente definidas por la *Commission Internationale d'Eclairage*, en Viena, Austria. [Claridad o L^* (0 oscuro, 100 claro), a^* (rojo - verde), y b^* (amarillo - azul); **figura 2**]. Las mediciones del colorímetro de los ingredientes, especialmente de los DDGS se han convertido en algo común en la industria de alimentos balanceados para evaluar el grado de daño térmico de los ingredientes de contenido de proteína de mediano a alto. Es importante darse cuenta que las calificaciones de color que utilizan los colorímetros Minolta son más bajas que los colorímetros Hunter Lab. Urriola (2007) mostró que las lecturas de L^* son generalmente 2.9 unidades más bajas y las lecturas de b^* son 1.7 unidades más bajas en el Minolta, en comparación con las de Hunter de la misma muestra. Sin embargo, es la misma la clasificación de las muestras por calificación de color que utilizan ambos métodos. Por lo tanto, si se utilizan las mediciones de color como criterio para comercializar DDGS, es básico que se defina el método utilizado (por ejemplo, Hunter o Minolta) en el contrato para evitar malentendidos de los resultados.

¿Por qué es importante el color en algunos mercados de exportación, pero no en otros?

Cuando se vive y se trabaja en una economía global, es básico entender cómo perciben las cosas las diferentes culturas del mundo, la naturaleza simbólica de cómo pueden pensar y en qué se basan para tomar medidas. Como ejemplo, la página web (http://webdesign.about.com/od/colorcharts/l/bl_colorculture.htm) describe qué significan los diferentes colores en las diferentes culturas. Por ejemplo, en la cultura china se considera el color amarillo como el más bonito: corresponde a la tierra y al centro de todo (http://en.wikipedia.org/wiki/Color_in_Chinese_culture). El amarillo se clasifica por arriba del café y también significa neutralidad y buena suerte. El amarillo era el color de la China imperial, es el color simbólico de los cinco emperadores legendarios de la China antigua, que a veces decoran los palacios reales, altares y templos, y que se utilizó en la ropa y vestimenta de los emperadores. El amarillo también representa libertad de cuidados mundanos y es muy respetado en el budismo.

Además, los consumidores de muchos países asiáticos prefieren las yemas de huevo de color amarillo oscuro y la piel del pollo también de amarillo en lugar de los huevos o pieles pálidas que normalmente se encuentran en EUA. El color amarillo o dorado se tiene en gran estima, más que el café y es probablemente uno de los posibles factores que contribuyen al por qué los DDGS “dorados” es el color preferido de esta materia prima en muchas partes de Asia.

¿Existe alguna relación entre el color de los DDGS y el valor nutritivo?

Diferencias en color entre las muestras de DDGS.

Hay diferencias significativas en el color entre los DDGS de maíz de EUA (**figura 3**). Se han realizado quince estudios para evaluar la gama de color (L^* , a^* y b^*) o el grado de calentamiento entre las fuentes de DDGS y su relación en cuanto a las diferencias en la calidad nutricional y características físicas. En el **cuadro 1** se encuentra un resumen de los hallazgos

clave de estos estudios. Todos, excepto dos de los estudios (Urriola, 2007; Song et al. 2011) evaluaron muestras de DDGS de un número limitado de fuentes (de 2 a 9). Sin embargo, a pesar del número limitado de fuentes evaluadas en la mayoría de estos estudios, hubo una gama significativa en las calificaciones de color L^* entre las muestras analizadas, excepto en los estudios que notificaron Rosentrater (2006), Pahm et al. (2009) y Kingsly et al. (2010). En los estudios de Cromwell et al. (1993) y Urriola (2007) se incluyeron muestras de DDGS de las plantas de etanol de bebidas, por lo que puede ser la razón de valores sumamente bajos de L^* (muestras oscuras) en dichos estudios, pero no explica los valores bajos de L^* obtenidos en los estudios de Fastinger y Mahan (2006), y Bhadra et al. (2007), en los que solamente evaluaron DDGS de plantas de etanol para combustible.



Figura 3. Diferencias de color entre las fuentes de DDGS de maíz de EUA.

Cuadro 1. Resumen de los resultados de investigación que involucraron el color de los DDGS (o grado de calentamiento) sobre las características nutricionales y físicas.

Referencia	# Fuente de DDGS	Gama L^*	Gama a^*	Gama b^*	Hallazgos clave:
Cromwell et al. (1993)	9	28.9-53.2	ND	12.4-24.1	Correlación significativa entre L^* y nivel de lisina de los DDGS, y L^* y b^* con ganancia de peso y alimento/ganancia en pollitos de engorda. Los efectos fueron similares en cerdos. El NIAD de las fuentes de DDGS también estuvo altamente correlacionado con la ganancia de peso y el alimento/ganancia de los pollitos.
Whitney et al. (2001)	2	ND; claro y oscuro	ND	ND	Los DDGS de color claro tuvieron un AID de lisina de 47.4% pero los DDGS de color más oscuro tuvieron una AID de lisina del 0% en cerdos.
Ergul et al. (2003)	4	41.8-53.8	ND	32.9-42.8	Correlaciones significativas entre L^* y b^* y lisina digestible en aves.
Roberson et al. (2005)	2	ND; claro y oscuro	ND	ND	La fuente de color claro tuvo 29.8 mg/kg de xantofilas, la fuente de color oscuro tuvo 3.5 mg/kg de xantofilas
Rosentrater (2006)	6	40.0-49.8	8.0-9.8	18.2-23.5	L^* , a^* y b^* se correlacionaron con varias propiedades físicas
Batal y Dale (2006)	6	47.9-62.9	4.1-7.6	8.8-28.4	Se encontraron correlaciones significativas entre Lys, Thr, Arg, His y Trp digestibles y los valores L^* y b^* , pero no con los valores a^* .
Fastinger y Mahan (2006)	5	28.0-55.1	6.7-9.0	15.8-41.9	Las fuentes de DDGS con color L^* y b^* mayor presentaron una digestibilidad aparente y estandarizada mayor de los aminoácidos en cerdos que las fuentes de DDGS de un color más oscuro.
Urriola (2007)	34	36.5-62.5	8.0-12.0	21.3-47.0	La proteína cruda y aminoácidos digestibles se predijeron muy mal ($R^2 < 0.30$) a partir de las calificaciones de color Minolta o Hunter en cerdos. La correlación ($R^2 = 0.48$) entre L^* y lisina SID fue mayor entre las muestras con $L^* < 50$ que las muestras con $L^* > 50$ ($R^2 = 0.03$).
Bhadra et	3	36.6-50.2	5.2-10.8	12.5-23.4	Los parámetros de color a^* y b^* tuvieron

al. (2007)					correlaciones altas con la actividad acuosa y correlaciones moderadas con las propiedades térmicas, lo que puede ser importante para el almacenamiento del alimento y el procesamiento posterior
Martínez Amezcua y Parsons (2007)	ND	ND; muestra de DDGS de color claro procesada térmicamente	ND	ND	El mayor calentamiento de los DDGS aumentó significativamente la biodisponibilidad relativa de P en DDGS en aves, pero se redujo mucho la digestibilidad de aminoácidos, especialmente de la lisina.
Ganesan et al. (2008)	ND	40.8-54.1	12.4-18.7	57.6-73.3	Cantidad de solubles añadidos a los granos para hacer que los DDGS tengan L* reducido y a* mayor e interaccione con el contenido de humedad para afectar el color de los DDGS.
Liu (2008)	6	44.9-59.6	8.3-11.4	31.0-46.4	La mayoría de las muestras de DDGS mostraron una disminución en L* y b*, y un ligero incremento en a* conforme aumentaba el tamaño de partícula.
Pahm (2009)	7	49.3-56.4	10.4-14.5	36.7-43.9	La correlación entre L* y lisina SID en pollitos fue mala (0.29), pero muy alta (0.90) para la biodisponibilidad relativa de la lisina.
Kingsly et al. (2010)	1	49.0-53.4	8.8-11.3	24.7-26.5	Conforme se reducía el nivel de CDS, aumentó el valor de L* y disminuyó el de a*.
Song et al. (2011)	31	45.2-58.1	9.3-12.4	26.6-42.4	Correlaciones significativas entre mediciones de oxidación de grasa (TBARS y PV) y L* y b*. El TBARS de los DDGS fue de 5 a 25x > al maíz.

ND = no determinado

Relación entre el color de los DDGS y la digestibilidad de lisina para cerdos y aves

Las investigaciones realizadas por Evans y Butts (1948) fueron las primeras que mostraron que el calor excesivo de los ingredientes de alimentos balanceados puede resultar en que se ligen los aminoácidos y las proteínas a otros compuestos, tales como la fibra y se reduzca la digestibilidad de los aminoácidos (especialmente la lisina) en animales monogástricos (por ejemplo, cerdos, aves y peces). Como resultado, el uso del color como un indicador del calentamiento excesivo y de la reducción de la digestibilidad de aminoácidos en los DDGS, ha sido el objetivo principal en 7 de 15 estudios de investigación que se han realizado (**cuadro 1**). La primera evidencia de la relación entre el color de los DDGS, el contenido de lisina y el desempeño del animal lo publicaron Cromwell et al. (1993). Mostraron que las concentraciones de lisina tendían a ser mayores en las fuentes de DDGS de colores más claros, intermedias en las de colores medios y las más bajas en las fuentes de DDGS de colores más oscuros. Además, había una correlación significativa entre el L^* de Hunter y la ganancia de peso, así como en el alimento/ganancia en pollitos de engorda. Cuando las fuentes de DDGS de calificaciones de colores similares se mezclaban y se alimentaban a cerdos, los resultados de desempeño eran similares a los observados en estudios de pollos. En estudios adicionales de Ergul et al. (2003) y Batal y Dale (2006) se evaluaron fuentes de DDGS que representaban una amplia gama de valores L^* y b^* , los cuales confirmaron los resultados de Cromwell et al. (1993) al mostrar que L^* y b^* se correlacionaban significativamente con la digestibilidad de lisina y otros aminoácidos. Sin embargo, los resultados de un estudio reciente de Pahm et al. (2009), que evaluaron 7 fuentes de DDGS que podían clasificarse como de color “dorado” y que habían mostrado una gama estrecha de valores L^* (de 49 a 56), no mostraron efectos de L^* sobre la digestibilidad de lisina en aves, pero hubo diferencias significativas en la biodisponibilidad relativa de la lisina entre estas fuentes.

De la misma forma, los resultados de estudios adicionales en cerdos (Whitney et al., 2001; Fastinger y Mahan, 2006) mostraron una digestibilidad de aminoácidos más baja en fuentes de DDGS que tenían valores L^* más bajos (más oscuro el color) en comparación con fuentes con valores L^* más altos. No obstante, Urriola (2007) fue el primero en demostrar que mediante un gran número de muestras de DDGS ($n = 34$) en una amplia gama de valores L^* (37 a 63) que la proteína cruda y los aminoácidos digestibles se predecían muy mal ($R^2 < 0.30$) a partir de las calificaciones de color Minolta o Hunter en cerdos. La relación entre L^* y la lisina digestible fue mayor para las muestras con L^* menor a 50 en comparación con las de L^* mayor a 50 (**figura 4**). Sin embargo, incluso en las muestras de DDGS con L^* menor a 50, la correlación entre L^* y el contenido de lisina digestible en cerdos fue relativamente baja ($R^2 = 0.48$), lo que indica que no se puede usar el color para predecir de manera precisa el contenido de lisina digestible entre las fuentes de DDGS. Los resultados de estos estudios indican que L^* y b^* , pero no a^* pueden ser indicadores generales útiles de la digestibilidad relativa de la lisina si los valores L^* son < 50 , pero no si L^* son > 50 .

Relación entre la temperatura de secado y la disponibilidad relativa de fósforo en DDGS

Aunque, hay pruebas consistentes de que el calentamiento excesivo (L^* más bajo y color oscuro) durante el secado de los DDGS reduce la digestibilidad de la lisina y de otros aminoácidos, puede aumentar la biodisponibilidad relativa del fósforo para aves. Martínez-Amezcu y Parsons (2007) aplicaron mayores temperaturas de calentamiento a las muestras

de DDGS de color claro y observaron que la biodisponibilidad relativa del fósforo se mejoraba, pero se reducía mucho la digestibilidad de los aminoácidos. Ésta es la primera evidencia que demuestra que el calor excesivo de los DDGS pueden mejorar su valor nutritivo para las aves al mejorar la utilización de fósforo.

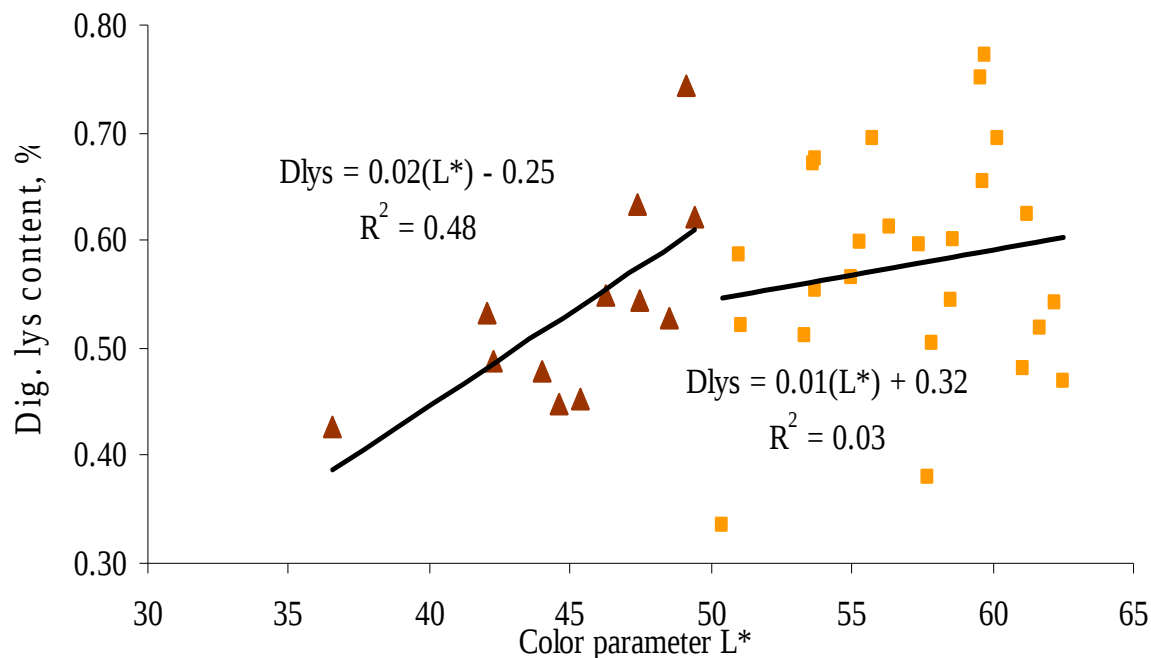


Figura 4. La relación entre la claridad del color (L^*) y el contenido de lisina digestible de DDGS de maíz para cerdos. (Urriola, 2007)

Relación entre el color de los DDGS y el contenido de xantofilas

Se han realizado pocos estudios para determinar el contenido de xantofilas en los DDGS. Las xantofilas son pigmentos amarillos y anaranjados naturales del maíz y sus coproductos que son valiosos en las dietas de aves en muchos países, especialmente en Asia, para producir el color dorado deseado de la yema de huevo y de la piel del pollo. Los pigmentos sintéticos de xantofilas (a veces derivados de los pétalos del cempasúchil o marigold) son muy caros, pero es muy común que se añadan a las dietas avícolas en los países asiáticos como la principal fuente de pigmento. Por lo tanto, la adición de coproductos de maíz, tales como la harina de gluten de maíz y en menor grado los DDGS, a las dietas avícolas, reduce la necesidad de utilizar pigmentos sintéticos caros, y en consecuencia reduce el costo de la dieta, al mismo tiempo que cumple con las normas de calidad del color de la yema de huevo y de la piel que prefiere el consumidor.

Se ha informado que los valores de xantofilas en los DDGS son entre 10.6 mg/kg (NRC, 1981) y 34.0 mg/kg (Sauvant y Tran, 2004). Roberson et al. (2005) no utilizaron los colorímetros Minolta o Hunter para medir el color, pero mostraron que los DDGS de color oscuro contenían 3.5 mg/kg de xantofilas en comparación con los DDGS de color dorado más claro que contenían 29.8 mg/kg de xantofilas. Indicaron que el sobrecalentamiento de los DDGS puede causar oxidación de las xantofilas, lo que resulta en menores concentraciones. Por lo tanto, parece que es más probable que los DDGS de color más claro contengan mayores cantidades de xantofilas, que los de color más oscuro.

Relación entre el color de los DDGS y el nivel de oxidación de los lípidos

Muy poca investigación se ha llevado a cabo para evaluar la cantidad de aceite oxidado en los DDGS. Los granos secos de destilería con solubles contienen aproximadamente 10% de aceite de maíz. El aceite de maíz contiene altos niveles de ácidos grasos poliinsaturados (particularmente ácido linoleico) que son vulnerables a la peroxidación de los lípidos. Las temperaturas de secado que se utilizan en las plantas de etanol pueden variar substancialmente (de 85° a 593°C o 185 a 1100° F), y el mayor tiempo de secado y temperatura que se utilizan durante el proceso de secado acelera la peroxidación de los lípidos. La peroxidación de los lípidos en los alimentos para animales han mostrado que afecta negativamente la salud y el desempeño del crecimiento de los cerdos (L'Estrange et al., 1967; Dibner et al., 1996; DeRouchey et al., 2004). Harrell et al. (2010) mostraron que los cerdos en maternidad alimentados con 20 a 30% de DDGS presentaron un desempeño del crecimiento similar en comparación con aquellos alimentados con aceite de maíz altamente oxidado, y la alimentación del aceite de maíz o de DDGS oxidados resultó en una reducción del desempeño del crecimiento en comparación con los que se alimentaron con aceite de maíz fresco (no oxidado). Song et al. (2011) terminaron recientemente un estudio para medir las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) y el valor de peróxido (VP), que son métodos analíticos comunes para medir la peroxidación de los lípidos, en muestras de DDGS obtenidas de 31 plantas de etanol en EUA. La gama en TBARS entre las muestras de DDGS fue de 1.0 a 5.2 ng equivalentes MDA/mg de aceite, mientras que el VP fue de 4.2 a 84.1 meq/kg de aceite. La muestra de DDGS con el valor TBARS y VP más alto fue de 25 y 27 veces mayor, respectivamente, que el nivel encontrado en el maíz. Hubo una correlación negativa significativa entre L* y b* y el nivel de peroxidación de lípidos entre las muestras de DDGS, lo que indica que las muestras más oscuras pudieran tener niveles más altos de lípidos oxidados que las de color más claro.

¿Existe relación entre el color de los DDGS y las características físicas?

Se han realizado cinco experimentos (**cuadro 1**) para entender la relación entre el color de los DDGS y sus características físicas, las cuales pueden afectar el almacenamiento y el posterior procesamiento del alimento. Rosentrater (2006) fue el primero en notificar que L*, a* y b* se correlacionaban con varias propiedades físicas (humedad, actividad acuosa, conductividad, resistividad, densidad de masa y capacidad de flujo) de los DDGS. Bhadra et al. (2007) confirmaron estos hallazgos y mostraron que a* y b* presentaban correlaciones más altas con la actividad acuosa y relaciones moderadas con las propiedades térmicas de los DDGS, lo que indica que el color puede ser un indicador de la evaluación del almacenamiento del alimento y de las características para el posterior procesamiento.

Se añadieron cantidades variables de solubles condensados de destilería a la fracción de granos gruesos para producir DDGS entre plantas de etanol. La proporción de solubles y de granos gruesos utilizada para producir DDGS afecta la composición de nutrientes de éstos, porque es substancialmente diferente el contenido de nutrientes de cada una de estas fracciones. La fracción de granos gruesos es mayor en la materia seca (33.8 contra 19.5%), proteína (33.8 contra 19.5%) y fibra cruda (9.1 contra 1.4%), pero más baja en grasa cruda (7.7 contra 17.4%), cenizas (3.0 contra 8.4%) y fósforo (0.6 contra 1.3%), que la fracción de los solubles condensados. Por lo tanto, al aumentar las proporciones de solubles condensados

añadidos a la fracción de granos gruesos va a aumentar la grasa cruda, las cenizas y el fósforo, pero se va a reducir el contenido de proteína cruda y fibra cruda de los DDGS.

Noll et al. (2006) evaluaron la composición y la digestibilidad de nutrientes 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 mieles 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 aumentaban las adiciones 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) (**cuadro 2**). 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. Ganesan et al. (2008) y Kingsly et al. (2010) demostraron que conforme se incrementa la cantidad de solubles condensados de destilería añadida a la fracción de granos gruesos, se reduce el L^* y aumenta el a^* . Por lo tanto, el L^* y a^* de los DDGS pueden ser indicadores generales de los cambios en la composición de nutrientes entre muestras de DDGS.

Cuadro 2. Efecto de la tasa de adición de solubles a la masa sobre las características del color de los DDGS

Color (escala CIE)	0 gal/min	12 gal/min	25 gal/min	42 gal/min	Correlación de Pearson	Valor P
L^*	59.4	56.8	52.5	46.1	- 0.98	0.0001
a^*	8.0	8.4	9.3	8.8	0.62	0.03
b^*	43.3	42.1	40.4	35.6	- 0.92	0.0001

Adaptado de Noll et al. (2006)

Las investigaciones en la University of Minnesota han mostrado que hay una variación considerable (de 256 a 1,217 μm) en el tamaño de partículas entre las fuentes de DDGS, y que este tamaño de partícula puede afectar la energía digestible (ED) y la energía metabolizable (EM) en cerdos (Liu et al., 2011). Liu (2008) notificó que la mayoría de las muestras de DDGS mostraron una disminución en el valor L^* y b^* , y un ligero incremento en el valor a^* conforme aumentaba el tamaño de partículas de los DDGS.

¿Es el color el mejor indicador de la calidad de los DDGS?

No necesariamente. Es importante recordar que hay muchos criterios que se pueden usar para describir la “calidad” de los DDGS. Los resultados de los estudios de investigación resumidos en este capítulo han mostrado que el color de los DDGS se correlaciona con varios componentes nutricionales y características físicas de los DDGS. En algunos casos, la fuente de DDGS con un L^* alto puede inferir una digestibilidad de lisina y contenido de xantofilas más altos, y una oxidación de lípidos mínima. Por otro lado, las fuentes de DDGS de color oscuro pueden tener valores más altos de algunos nutrientes, en comparación con las fuentes más claras. Por ejemplo, la adición de niveles crecientes de solubles a la fracción de granos gruesos cuando se producen DDGS resulta en mayor contenido de energía, grasa cruda y minerales, con efectos mínimos sobre el contenido y digestibilidad de proteína cruda y aminoácidos, en comparación con las fuentes de color más claro que contienen menos

solubles. Además, las muestras de color más oscuro parecen tener una biodisponibilidad de fósforo relativamente más alta para aves. El tamaño de partícula, el contenido de humedad y otras propiedades físicas de los DDGS también se pueden correlacionar con el color, pero es más difícil de evaluar el valor de estas relaciones desde la perspectiva de la fabricación de alimentos balanceados y de la nutrición. **Por lo tanto, no se recomienda el uso del color como el único o el mejor indicador de la calidad de los DDGS.**

¿Cuáles son los métodos más precisos para evaluar la calidad y valor de los DDGS?

Para la mayoría de los usuarios de DDGS, una fuente de alta calidad es aquella que es alta en contenido y digestibilidad de nutrientes y que está libre de factores antinutricionales, como las micotoxinas. La calidad nutricional representa la concentración de nutrientes digestibles y el valor o ahorro en el costo obtenido por la adición de los DDGS para sustituir parcialmente otros ingredientes en el alimento para animales. Este "valor" es fundamentalmente diferente al "precio" pagado por los DDGS. El precio en el mercado se establece generalmente mediante la garantía de un cierto nivel de "ProFat" (por ejemplo, 36%). "Profat" se refiere a la suma de la concentración de proteína cruda y grasa cruda en los DDGS, que debe ser igual o exceder al de la garantía (por ejemplo, 36%) para evitar el descuento al proveedor. Sin embargo, las dietas animales (particularmente para cerdos y aves) no se formulan con base en la proteína cruda o grasa cruda, sino más bien en energía metabolizable EM y en aminoácidos digestibles. Por lo tanto, las fuentes con contenido de EM y aminoácidos digestibles más altos son más "valiosas" desde el punto de vista del costo de la dieta, que las de niveles más bajos de estos nutrientes caros. Aunque a veces muchas fuentes de DDGS tienen el mismo contenido "ProFat" y por lo tanto el mismo precio, pueden tener un "valor" sustancialmente diferente al basarse en el contenido de EM y aminoácidos digestibles.

Como ejemplo, en el **cuadro 3** se muestran las concentraciones reales de proteína cruda y grasa cruda de 5 diferentes fuentes de DDGS. Cada fuente cumple con el mínimo de garantía de 36% de ProFat, y algunos podrían pensar que las fuentes con el nivel más alto son las más valiosas (por ejemplo, las fuentes A y C). Sin embargo, éste no es el caso cuando se utiliza el análisis real de nutrientes de cada fuente para calcular el contenido de EM, aminoácidos digestibles y fósforo disponible de las fuentes en dietas de cerdos que utilizan el servicio Illuminate® de VAST (<http://v-ast.com/services.htm>). El principal contribuyente al valor en los DDGS es el contenido de EM, el cual va de 2,970 (fuente C valuada en \$165 dólares/ton) a 3,540 kcal/kg (fuente E valuada en \$215 dólares/ton). Esta es una diferencia de \$50 en valor por tonelada, pero es probable que cada una de estas fuentes se compre en el mismo precio. Si suponemos que la calidad de los DDGS es igual al valor de los DDGS, entonces la mejor manera de evaluar la calidad es usar varias "herramientas nutricionales" que existen para evaluar el valor y obtener valores de carga de nutrientes más precisos para así tener una formulación más precisa.

Cuadro 3. Comparación del valor de los DDGS entre 5 muestras con diferentes niveles de proteína cruda y grasa cruda.

	A	B	C	D	E
Materia seca, %	87.9	90.1	86.5	91.7	90.0
Proteína cruda, %	28.2	26.7	27.7	26.7	25.1
Grasa cruda, %	11.4	9.9	11.5	10.6	11.2
ProFat, %	39.6	36.6	39.2	37.3	36.3
EM, kcal/kg	3070	3460	2970	3410	3540
Digestibilidad Lys, %	0.54	0.52	0.54	0.61	0.54
P disp., %	0.67	0.50	0.62	0.56	0.64
Valor, \$	175	204	165	208	215

Ecuaciones de predicción de la EM para cerdos y aves

Debido a la variabilidad en el contenido de nutrientes entre las fuentes de DDGS y a la importancia económica de tener valores precisos de EM para la formulación de dietas de aves y cerdos, los investigadores han realizado experimentos para determinar el contenido de nutrientes y de EM de las fuentes de DDGS y han desarrollado ecuaciones de predicción para calcular dicho contenido de varias fuentes para cerdos (Pedersen et al., 2007; Mendoza et al., 2010; Anderson et al., 2012) y aves (Batal y Dale, 2006; Rochelle et al. 2011). Los ejemplos de estas ecuaciones están a continuación:

Cerdos

$$\text{EM kcal/kg MS} = (0.949 \times \text{kcal EB/kg MS}) - (32.238 \times \% \text{ FTD}) - (40.175 \times \% \text{ cenizas})$$

Anderson et al. (2012) $r^2 = 0.95$ SE = 306

$$\text{EM kcal/kg MS} = 2,815 + (94.5 \times \% \text{ grasa cruda}) + (96.2 \times \% \text{ fibra cruda}) - (33.2 \times \% \text{ FND}) - (66.2 \times \% \text{ cenizas}) + (25.9 \times \% \text{ almidón})$$

Mendoza et al. (2010) $r^2 = 0.90$ SE = 49

$$\text{EM kcal/kg MS} = -10,267 - (175.78 \times \% \text{ cenizas}) + (23.09 \times \% \text{ PC}) - (71.22 \times \% \text{ EE}) - (137.93 \times \% \text{ FAD}) + (3.036 \times \text{EB, kcal/kg})$$

Pedersen et al., (2007) $r^2 = 0.99$

En la que EB = energía bruta, FTD = fibra total en la dieta, FND = fibra neutrodetergente, EE = extracto etéreo y FAD = fibra ácidodetergente.

Aves

Basado en 13 coproductos de maíz diversos:

$$\text{EMAn}_n, \text{ kcal/kg MS} = 3,517 + (46.02 \times \% \text{ grasa cruda}) - (82.47 \times \% \text{ cenizas}) - (33.27 \times \% \text{ hemicelulosa})$$

Rochelle et al. (2011) $r^2 = 0.89$, SE = 191

Basado solamente en DDGS:

$$\begin{aligned} \text{EMAn}_n &= 2138 - (263.5 \times \% \text{ fibra cruda}) + (566.3 \times \% \text{ cenizas}) & r^2 &= .99 \\ \text{EMAn}_n &= 1278 - (19.7 \times \% \text{ FTD}) + (470 \times \% \text{ cenizas}) & r^2 &= .99 \end{aligned}$$

Rochelle et al. (2011)

Predicción de la EMV de aves de los DDGS a partir de contenido de proteína cruda, grasa, fibra y cenizas (Batal y Dale, 2006)

$$\begin{aligned} \text{EMV}_n, \text{ kcal/lb} &= 2439.4 + (43.2 \times \% \text{ grasa cruda}) & r^2 &= 0.29 \\ \text{EMV}_n, \text{ kcal/lb} &= 2957.1 + (43.8 \times \% \text{ grasa cruda}) - (79.1 \times \% \text{ fibra cruda}) & r^2 &= 0.43 \\ \text{EMV}_n, \text{ kcal/lb} &= 2582.3 + (36.7 \times \% \text{ grasa cruda}) - (72.4 \times \% \text{ fibra cruda}) & & \\ &+ (14.6 \times \% \text{ proteína cruda}) & r^2 &= 0.44 \\ \text{EMV}_n, \text{ kcal/lb} &= 2732.7 + (36.4 \times \% \text{ grasa cruda}) - (76.3 \times \% \text{ fibra cruda}) & & \\ &+ (14.5 \times \% \text{ proteína cruda}) - (26.2 \times \% \text{ cenizas}) & r^2 &= 0.45 \end{aligned}$$

Aunque estas ecuaciones proporcionan un mecanismo para calcular el contenido de EM de los DDGS para cerdos y aves, hay desafíos que se presentan en su uso. En primer lugar, ninguna de ellas se ha validado en estudios de alimentación animal para verificar su precisión. En segundo lugar, algunas ecuaciones se desarrollaron utilizando muestras de DDGS con menos variabilidad en el contenido de nutrientes que otras, lo que puede afectar su precisión en un conjunto diverso de fuentes de DDGS. En tercer lugar, algunas de las mediciones requeridas de nutrientes por las ecuaciones (por ejemplo, EB, FTD) no se miden de forma rutinaria (por ejemplo, la EB) y son caras (por ejemplo, la FTD) en los laboratorios de las plantas de alimentos balanceados, además de que la medición de algunos de los componentes nutricionales (por ejemplo, FND) puede variar de forma sustancial entre laboratorios y procedimientos utilizados. Finalmente, parecen ser contrarios a la intuición los ajustes de la grasa y la fibra en algunas ecuaciones. Por ejemplo, el extracto etéreo debe tener un efecto positivo y la fibra cruda debe tener uno negativo sobre la EM, pero algunas ecuaciones muestran el efecto opuesto.

Métodos de evaluación de la digestibilidad de aminoácidos

Los aminoácidos digestibles son el segundo componente nutricional más caro (después de la energía) en los alimentos para animales. Varios estudios de investigación (Ergul et al. (2003); Batal y Dale (2006); Fastinger y Mahan (2006) y Urriola (2007), han mostrado que las fuentes de DDGS varían de forma sustancial en el contenido de aminoácidos digestibles para aves y cerdos. Por lo tanto, se han evaluado varios métodos en cuanto a la precisión de la predicción de la digestibilidad de aminoácidos entre las fuentes de DDGS.

Cerdos

El contenido de proteína cruda es un predictor malo de la lisina digestible ileal estandarizada (SID), pero el contenido de lisina total y lisina reactiva de los DDGS son buenos predictores (Kim et al., 2010), mediante el uso de las siguientes ecuaciones: $\text{Lys SID \%} = -0.482 + (1.148 \times \text{Lys analizada, \%})$ o $\text{Lys SID \%} = -0.016 + (0.716 \times \text{Lys reactiva, \%})$. La relación de lisina a proteína cruda en los DDGS se puede utilizar como un predictor general de la digestibilidad de lisina relativa entre las fuentes de DDGS, pero no para estimaciones precisas (Stein, 2007). Dicho de otra forma, si la relación de lisina a proteína cruda es > 2.80 en una fuente de DDGS, se considera ser altamente digestible y apta para dietas de aves y cerdos.

Aves

Fiene et al. (2006) desarrollaron ecuaciones para calcular el contenido de aminoácidos totales en los DDGS mediante determinaciones de proteína cruda, fibra cruda y grasa cruda. Dichas ecuaciones trabajan razonablemente para predecir la metionina y la treonina, pero dan malas predicciones de lisina, arginina, cistina y triptofano. Cromwell et al. (1993) mostraron el uso de NIAD (nitrógeno insoluble ácido detergente) y una correlación alta negativa con la tasa de crecimiento de los pollos de engorda y la conversión alimenticia en DDGS. El uso del ensayo IDEA™ de Novus International es un buen predictor de lisina digestible en fuentes de DDGS para aves, pero no para otros aminoácidos.

"Herramientas nutricionales" comerciales para evaluar el valor nutritivo de los DDGS

IDEA® (Immobilized Digestive Enzyme Assay o Ensayo de Enzimas Digestivas Inmovilizadas) es un método analítico comercializado por NOVUS International que se usa para calcular el contenido de aminoácidos digestibles de varias fuentes de DDGS, harina de soya y otros ingredientes altos en proteína para aves y cerdos. Actualmente está en evaluación la precisión de utilizar IDEA® como un indicador confiable de la digestibilidad de aminoácidos de las fuentes de DDGS para cerdos. Parece ser que predice de manera razonable el contenido de lisina digestible para aves, pero no de otros aminoácidos.

AMINORED® es una herramienta desarrollada por Evonik para identificar y clasificar el daño térmico de la harina de soya y de DDGS con un procedimiento *in vitro* llamado Heat Damage Indicator (HDI o Indicador de Daño Térmico). El HDI se utiliza para ajustar la digestibilidad de aminoácidos en función de la cantidad de daño térmico, mediante la "herramienta" llamada AMINORED®. En la actualidad, está en evaluación la precisión de utilizar AMINORED® como un indicador confiable de la digestibilidad de aminoácidos de las fuentes de DDGS para cerdos y aves.

Adisseo proporciona un servicio en los países asiáticos para calcular el contenido de nutrientes de varios ingredientes entre los que se incluye el maíz, la harina de soya y los DDGS para cerdos y aves mediante NIRS (Near Infrared Reflectance Spectroscopy o Espectroscopía de Reflectancia de Infrarrojo Cercano). Se han desarrollado calibraciones para determinar los componentes del análisis proximal y predecir los aminoácidos totales y digestibles, así como la EMV en maíz, harina de soya y DDGS para aves.

Illuminate® es una "herramienta" desarrollada por Value Added Science and Technology (<http://v-ast.com/services.htm>) especialmente diseñada para calcular el contenido de EM, aminoácidos SID, y fósforo disponible en fuentes de DDGS, así como para proporcionar comparaciones relativas entre fuentes para cerdos. Es un servicio por suscripción que se basa en las ecuaciones de predicción publicadas de EM, el análisis químico y las calibraciones NIR de aproximadamente 100 plantas de etanol de EUA.

"Herramientas calculadoras" del valor de los DDGS

Se han desarrollado varias herramientas calculadoras del valor de los DDGS para determinar su valor alimenticio para ganado y aves. Estas herramientas son sumamente útiles para determinar el valor económico real de los DDGS en dietas específicas de ganado y avicultura, que deben utilizarse cuando se evalúa si el precio actual de esta materia prima es económico en relación a su contribución de nutrientes y al precio relativo a otros ingredientes que compiten. La herramienta calculadora del valor de DDGS más reciente e integral la desarrollaron investigadores de Iowa State University (Dahlke y Lawrence, 2008), la cual es útil para una amplia gama de dietas y especies de animales (<http://www.matric.iastate.edu/DGCalculator>). SESAME, (www.sesamesoft.com), desarrollada por investigadores (Drs. Normand St-Pierre, Branislav Cobanov y Dragan Glamocic, 2007) en Ohio State University, es una herramienta integral que ayuda al ganadero y avicultor a tomar mejores decisiones de compra de alimentos balanceados. Además, se han desarrollado tres herramientas de evaluación de los DDGS específicamente para cerdos, las cuales se encuentran en www.ddgs.umn.edu:

- Calculadora de DDGS de University of Illinois - desarrollada por los Drs. Beob G. Kim y Hans H. Stein (diciembre de 2007).
- Calculadora del costo de DDGS para cerdos - desarrollada por el Dr. Bob Thaler, de South Dakota State University, Especialista en Extensión de Cerdos (septiembre de 2002).
- Calculadora de valor de DDGS - desarrollada por el Dr. Dean Koehler, Vita Plus Corporation, Madison, WI (septiembre de 2002).

Bibliografía

- Anderson, P.V., B. J. Kerr, T. E. Weber, C. Z. Ziemer, and G. C. Shurson. 2012. Determination and prediction of energy from chemical analysis of corn co-products fed to finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:1242-1254.
- Bhadra, R., K. Muthukumarappan, and K.A. Rosentrater. 2007. Characterization of chemical and physical properties of distillers dried grain with solubles (DDGS) for value added uses. An ASABE Meeting Presentation, Paper Number: 077009, 2007 ASABE Annual International Meeting, Minneapolis, Minnesota, 17 - 20 June 2007.
- Batal, A.B. and N.M. Dale. 2006. True metabolizable energy and amino acid digestibility of distillers dried grains with solubles. *J. Appl. Poult. Res.* 15:89-93.
- 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.
- DeRouchey, J. M., J. D. Hancock, R. H. Hines, C. A. Maloney, D. J. Lee, H. Cao, D. W. Dean, and J.S. Park. 2004. Effects of rancidity and free fatty acids in choice white grease on growth performance and nutrient digestibility in weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 82:2937-2944.
- Dibner, J. J., C. A. Atwell, M. L. Kitchell, W. D. Shermer, and F. J. Ivey. 1996. Feeding of oxidized fats to broilers and swine: effects on enterocyte turnover, hepatocyte proliferation and the gut associated lymphoid tissue. *Animal Feed Science Technology* 62:1-13.
- Ergul, T., C. Martinez-Amezcu, C. Parsons, B. Walters, J. Brannon and S.L. Noll. 2003. [Amino acid digestibility in corn distillers dried grains with solubles](http://www.ddgs.umn.edu/info-poultry.html). Presented at the 2003 Poultry Science Association Mtg., Madison, WI, July 2003. Available: www.ddgs.umn.edu/info-poultry.html. Accessed: January, 2011.
- Evans, R. J., and H. A. Butts. 1948. Studies on the heat inactivation of lysine in soy bean oil meal. *J. Biol. Chem.* 175:15-20.
- Fastinger, N.D. and D.C. Mahan. 2006. Determination of the ileal AA and energy digestibilities of corn distillers dried grains with solubles using grower-finisher pigs. *J. Anim. Sci.* 84:1722-1728.
- 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.
- Ganesan, V., K. Muthukumarappan, and K.A. Rosentrater. 2008. Effect of moisture content and soluble level in physical, chemical, and flow properties of distillers dried grains with soluble (DDGS). *Cereal Chem.* 85:464-740.
- Harrell, R. J., J. Zhao, G. Rexnik, D. Macaraeg, T. Wineman, and J. Richards. 2010. Application of a blend of dietary antioxidants in nursery pigs fed either fresh or oxidized corn oil or DDGS. *J. Anim. Sci.* 88(E-Suppl. 3): 97-98 (Abstr.).

http://en.wikipedia.org/wiki/Color_in_Chinese_culture

<http://hubpages.com/hub/The-significance-of-the-colors-red--gold-in-Chinese-culture>

<http://v-ast.com/services.htm>

http://webdesign.about.com/od/colorcharts//bl_colorculture.htm

<http://www.gipsa.usda.gov/GIPSA/webapp?area=home&subject=lr&topic=hb>

- Kingsly, A.R.P., K.E. Ileleji, C.L. Clementson, A.Garcia, D.E. Maier, R.L. Stroshine, and Scott Radcliff. 2010. The effect of process variables during drying on the physical and chemical characteristics of corn dried distillers grains with solubles (DDGS) – Plant scale experiments. *Bioresource Technology* 101:193–199.
- 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.)
- Klopfenstein, T. and R. Britton. 1987. Heat damage . Real or Artifact. In: *Dist.Feed Conf. Proceedings*. 42:84-86.
- L'Estrange J. L., K. J. Carpenter, C. H. Lea, and L. J. Parr. 1967. Nutritional effects of autoxidized fats in animal diets. 4. Performance of young pigs on diets containing meat meals of high peroxide value. *Br. J. Nutr.* 20:377-392.
- Liu, K. 2008. Particle size distribution of distillers dried grains with solubles (DDGS) and relationships to compositional and color properties. *Bioresource Tech.* 99:8421-8428.
- Liu, P., L.W.O. Souza, S.K. Baidoo, and G.C. Shurson. 2011. Impact of DDGS particle size on nutrient digestibility, DE and ME content, and flowability in diets for growing pigs. *J. Anim. Sci.* **89 (E-Suppl. 2):58** (abstr).
- Martínez-Amezcu, C. and C. M. Parsons. 2007. Effect of increased heat processing and particle size on phosphorus bioavailability in corn distillers dried grains with solubles. *Poultry Science* 86:331–337.
- Mendoza, O.F., M. Ellis, A.M. Gaines, M. Kocher, T. Sauber, and D. Jones. 2010. Development of equations to predict the metabolizable energy content of distillers dried grains with soluble (DDGS) samples from a wide variety of sources. *J. Anim. Sci.* 88 (E-Suppl. 3):54.
- Noll, S., C. Parsons, and B. Walters. 2006. What's new since September 2005 in feeding distillers co-products to poultry. *Proceedings from the 67th Minnesota Nutrition Conference & University of Minnesota Research Update Session: Livestock Production in the New Millenium*, St. Paul, MN. pp. 149-154.
-]. 2009. *Sci.* 88:571-578.
- Pedersen, C., M.G. Boersma, and H.H. Stein. 2007. Digestibility of energy and phosphorus in 10 samples of distiller dried grains with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 85:1168-1176.
- 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.
- Rochelle, 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. *Poul. Sci.* 90:1999-2007.
- Rosentrater, K.A. 2006. Some physical properties of distillers dried grains with soluble (DDGS). *App. Eng. Agric.* 22:589-595.
- Sauvant, D. and G. Tran. 2004. Corn Distillers. Page 118 in: *Tables of composition and nutritional value of feed materials*. D. Sauvant, J.M. Perez, and G. Tran ed. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands.
- Song, R., A. Saari Csallany, and G. C. Shurson. 2011. Evaluation of lipid peroxidation level in corn dried distillers grains with solubles (DDGS). Presented at the Midwest ASAS/ADSA meeting, March, 2011. *J. Anim Sci. e-suppl.* (abstract).

- Stein H. H., M. L. Gibson, C. Pedersen, and M. G. Boersma. 2006. AA 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* No. 001. Univ. of Illinois, Urbana-Champaign.
- Urriola, P.A. 2007. Digestibility of Dried Distillers Grains with Solubles, In vivo Estimation and In vivo Prediction. M.S. Thesis. University of Minnesota.
- Whitney, M.H., M.J. Spiehs, G. C. Shurson, and S. K. Baidoo. 2001. Apparent ileal amino acid digestibility of corn distiller's dried grains with solubles. Available: <http://www.ddgs.umn.edu/articles-swine/2002-Spiehs-%20Apparent%20ileal%20amino.pdf> Accessed Jan. 7, 2011.