

Capítulo 12

Preocupaciones y beneficios del azufre en los DDGS

Introducción

El azufre (S) es un mineral esencial para los animales y da servicio a muchas funciones biológicas importantes en el organismo animal. Sin embargo, cuando hay un exceso de S presente en las dietas de rumiantes, pueden presentarse problemas neurológicos. Cuando se dan alimento y agua con niveles altos de S (mayores a 0.40% de la MS de la dieta) a rumiantes, puede darse una condición llamada polioencefalomalacia (PEM). La polioencefalomalacia está causada por necrosis de la región cerebrocortical del cerebro del ganado, ovejas y cabras. Cuando los rumiantes consumen S, se reduce a sulfuro de hidrógeno mediante las bacterias ruminales. El sulfuro de hidrógeno es tóxico y se cree que su acumulación en el rumen es la causa de estos efectos tóxicos. Los rumiantes son más vulnerables a PEM cuando las dietas cambian abruptamente de una dieta principalmente de forrajes a una principalmente de granos. Esto causa un viraje impresionante en la población microbiana del rumen que produce tiaminasa, lo que resulta en una deficiencia de tiamina. El azufre también parece desempeñar un papel y una interacción importantes en la producción de tiaminasa para causar este estado, pero no se conoce bien el mecanismo. Además, el exceso de S en la dieta puede interferir con la absorción y metabolismo del cobre. Como resultado, cuando se alimentan niveles altos en la dieta de azufre durante un periodo largo, deben también incrementarse los niveles de cobre de la dieta (Boyles, 2007). Este trastorno no ocurre en animales no rumiantes (cerdos, aves, peces).

En contraste, la alimentación de dietas que contienen DDGS altos en azufre puede ser benéfica para evitar el desequilibrio de la oxidación metabólica en cerdos. Las investigaciones recientes realizadas en University of Minnesota (Song et al., 2012) mostraron que el contenido alto de azufre en los DDGS de maíz protege contra los lípidos oxidados en los DDGS al aumentar los antioxidantes que contienen azufre en los lechones.

Manejo del contenido de azufre en las dietas de rumiantes cuando se alimentan de DDGS

Los NRC de Ganado de Engorda (1996) indican que el nivel máximo tolerable de S en las dietas de ganado de engorda estabulado es de 0.40% (base MS). Vanness et al. (2009) resumieron la incidencia de PEM de los experimentos de alimentación con coproductos de la University of Nebraska, en los que mostraron que la tasa de incidencia aumenta conforme aumenta el contenido total de S de la dieta de 0.40% a más de 0.56% en dietas con 6 a 8% de forraje (**cuadro 1**). Las dietas altas en S (> 0.50%) que son bajas en fibra efectiva (< 4%) y altas en almidones rápidamente fermentables (> 30%) es muy probable que causen PEM (Drewnoski et al., 2011). Por ejemplo, Vanness et al. (2009) informaron que el ganado que consume una dieta con granos de destilería que contiene 0.47% de S sin forraje, tuvieron una tasa de incidencia de PEM del 48%, pero el ganado que consumió una dieta que contenía una concentración similar de S con 6 a 8% de forraje presentó una tasa de incidencia de PEM <

1%. Las investigaciones realizadas en la University of Nebraska y Iowa State University han mostrado que el riesgo de la toxicidad por azufre puede ser menor cuando los niveles de forraje en la dieta son mayores del 6 al 8% (Drewnoski et al. 2011). Si se incluye un 15% de forraje (base MS) en la dieta, la concentración total de S puede aumentarse a 0.5%, lo que es equivalente a un aumento de 10 a 15% de granos de destilería en la dieta, sin causar PEM. Al incrementar el contenido de forraje de la dieta, el pH del rumen no se va a reducir, y por lo tanto, no va a favorecer la formación de sulfuro de hidrógeno y va a permitir que aumente su concentración en el rumen. Parece que las estrategias de manejo de alimentación que minimizan el riesgo del acidosis, tales como la minimización de la variación del consumo de alimento, el aumento de la frecuencia de alimentación y el uso de ionóforos, también pueden reducir el riesgo de PEM.

Cuadro 1. Incidencia de PEM de los experimentos de alimentación con coproductos de maíz de la University of Nebraska.

S de la dieta	Casos de PEM/total de cabezas	Tasa de incidencia de PEM
0.40 a 0.46%	3/2147	0.14%
0.47 a 0.56%	3/566	0.35%
>0.56%	6/99	0.56%

Vanness et al. (2009)

El **cuadro 2** muestra ejemplos del impacto de añadir diferentes niveles de DDGS, con diferentes niveles de azufre, a dietas de ganado de engorda hechas de maíz y ensilado de maíz sobre los niveles finales de azufre en la dieta, suponiendo que hay niveles bajos de sulfato en el agua de bebida. Estos datos muestran que a tasas altas de inclusión en la dieta (40% de ingestión de MS) y niveles de azufre en los DDGS mayores a 0.80%, los niveles de azufre totales en la dieta van a sobrepasar el 0.40%, considerado como el nivel máximo para causar PEM. Si se va a alimentar DDGS al ganado, debe determinarse el contenido de azufre y considerarse en el nivel de alimentación, así como las contribuciones de azufre de otros ingredientes de la dieta y del agua, para garantizar que el contenido total de azufre de la dieta no exceda el 0.40%.

Cuadro 2. Efecto del contenido de azufre de los DDGS y la tasa de inclusión en la dieta (base MS) sobre el contenido total de azufre en dietas a base de maíz y ensilado de maíz para ganado de engorda¹.

Tasa de inclusión de DDGS, % MS	0.60% de S en DDGS	0.80% de S en DDGS	1.0% de S en DDGS
20	0.21	0.25	0.29
30	0.27	0.33	0.37
40	0.33	0.41	0.49

¹ Boyles, 2007.

Los niveles de azufre pueden variar mucho entre las fuentes de DDGS, de 0.31 a 1.93% (promedio de 0.69%) con base en la MS (www.ddgs.umn.edu). Es común añadir ácido sulfúrico durante el proceso de producción del etanol de molienda seca para mantener el pH a niveles deseados para obtener una propagación y fermentación óptimas de la levadura, que convierte el almidón en etanol, además de que también se usa para limpiar, debido a su bajo

costo en relación a otros ácidos. De acuerdo con la AAFCO Official Publication 2004, p 386, el ácido sulfúrico está generalmente reconocido como inocuo de acuerdo con el U.S. Code of Federal Regulation (21 CFR 582) y se lista como un aditivo alimenticio aprobado (21 CFR 573). Además, el maíz contiene de manera natural alrededor de 0.12% de azufre, el cual se concentra por un factor de 3, como todos los otros nutrientes, cuando el maíz se utiliza para producir etanol y DDGS. La levadura también contiene alrededor de 3.9 g/kg de azufre y crea de forma natural sulfitos durante la fermentación. Con base en la variabilidad significativa en el contenido de S dentro y entre fuentes de DDGS, es importante determinar cuánto contiene la fuente a alimentarse y monitorear la variación de carga en carga. Esto le va a permitir a los nutriólogos y formuladores de alimentos balanceados la capacidad de determinar un margen de seguridad adecuado durante la formulación de alimentos para manejar esta variabilidad. En el **cuadro 3** se muestra el posible intervalo de contenido de S de la dieta con varias tasas de inclusión de DDGS y de contenido del mismo S, suponiendo una variación interna en la planta del 10%.

Además del contenido de S de las materias primas, el agua de bebida puede ser una fuente importante de la ingestión de azufre total de la dieta en ciertas zonas geográficas. Si se desconoce el contenido de S del agua de bebida que se le brinda al ganado, debe analizarse en cuanto al contenido de sulfato y considerarse cuando se determinen las tasas de inclusión de la dieta de DDGS y otros ingredientes. El consumo de agua del ganado también varía de acuerdo a la zona geográfica y está sumamente influenciado por la temperatura ambiente. En el **Cuadro 4** se muestra el consumo de S adicional a la dieta obtenido del agua de bebida en diversas temperaturas ambiente y concentraciones de sulfato del agua.

Cuadro 3. Intervalo de S¹ de la dieta con base en la variación típica dentro de la planta del contenido de S de DDGS (base MS).

Contenido de S esperado en DDGS, %	Dieta S con 30% de DDGS, %	Dieta S con 40% de DDGS, %	Dieta S con 50% de DDGS, %	Dieta S con 60% de DDGS, %
0.6	0.32-0.34	0.36-0.38	0.40-0.43	0.44-0.48
0.7	0.35-0.37	0.40-0.43	0.45-0.49	0.50-0.54
0.8	0.38-0.40	0.44-0.47	0.50-0.54	0.56-0.61
0.9	0.41-0.44	0.48-0.52	0.55-0.60	0.62-0.67
1.0	0.44-0.47	0.52-0.56	0.60-0.65	0.69-0.74

¹ Supone que no se obtiene azufre del agua de bebida y un máximo de 10% de variación del contenido de azufre de los DDGS.

Adaptado de Drewnoski et al. (2011).

Cuadro 4. Consumo adicional de S en la dieta (%) del agua de bebida en varias temperaturas ambiente y concentraciones de sulfato en el agua¹.

Sulfato del agua, ppm	5° C	21° C	32° C
200	0.02	0.03	0.05
400	0.04	0.05	0.10
600	0.06	0.08	0.14
800	0.09	0.11	0.19
1000	0.11	0.13	0.24

¹ Porcentaje de azufre a añadir a la ración para determinar el consumo total de S.

Adaptado de Drewnoski et al. (2011).

El ganado de engorda parece ser el más susceptible a la toxicidad por S durante los primeros 30 días en una dieta de finalización cuando consumen agua o alimento con alta concentración de S. Esta mayor vulnerabilidad a la toxicidad por S de la alimentación de un concentrado alto en S parece estar causado por un aumento espectacular en las concentraciones de sulfuro de hidrógeno en el rumen, lo que resulta de un incremento en las bacterias reductoras de sulfato y en una disminución en el pH del rumen. Debido a que las bacterias que reducen el sulfato utilizan lactato para convertir el S a sulfuro, la mayor disponibilidad de lactato durante esta de primera parte del periodo de finalización puede incrementar su metabolismo y producir más sulfuro de hidrógeno. Sin embargo, las concentraciones de sulfuro de hidrógeno disminuyen más tarde en el periodo de finalización, debido al establecimiento de las bacterias que utilizan el lactato que compiten por las que reducen el sulfato. Por lo tanto, al retrasar la alimentación de dietas con tasas altas de inclusión de DDGS hasta después de que se hayan adaptado los microbios ruminales a una dieta alta en concentrado (aproximadamente 30 días), puede también reducir el riesgo de PEM.

Alimentación de DDGS con contenido alto de azufre a cerdos

La concentración tolerable máxima de S en las dietas de ganado está indicado en 0.40% de la MS (NRC, 1996), pero aún no se ha determinado la tolerancia del azufre en las dietas alimentadas a cerdos. Como resultado, Kim et al. (2012) realizaron 4 experimentos para determinar si las altas concentraciones de S en las dietas con DDGS afectan negativamente la preferencia del alimento y el desempeño del crecimiento de cerdos al destete y en crecimiento y finalización. Con base en los resultados de estos 4 experimentos, los autores concluyeron que la concentración del S de la dieta no afecta negativamente la preferencia del alimento, el consumo o el desempeño del crecimiento de cerdos al destete o en crecimiento - finalización, alimentados con dietas de maíz, harina de soya o DDGS.

El daño oxidativo de los lípidos en el alimento afectan negativamente la salud y desempeño del crecimiento de los cerdos (Miller y Brzezinska-Slebodzlinska, 1993; Pfalzgraf et al., 1995). La peroxidación de los lípidos se da durante la producción de los DDGS de maíz. El aceite de maíz está por lo regular presente en una concentración de aproximadamente 10% en los DDGS, y contiene niveles altos de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), particularmente ácido linoleico, que es más vulnerable a la peroxidación de lípidos (NRC, 1998). El aumento en el tiempo de secado y la temperatura utilizada de algunas plantas de etanol puede acelerar la peroxidación de los lípidos en la producción de los DDGS. Además, el contenido total de S en los DDGS de maíz puede exceder el 1% debido a la adición de ácido sulfúrico durante el proceso de producción de etanol, además de que el contenido de S en los DDGS es altamente variable (de 0.3 a 0.9%, en base a cómo se alimenta; Kim et al., 2012). Aunque el azufre es componente esencial en muchas funciones fisiológicas de los animales y se incorpora a aminoácidos, proteínas, enzimas y micronutrientes (Atmaca, 2004), se sabe muy poco acerca del impacto de la alimentación de los DDGS que contienen concentraciones altas de S sobre la salud y el desempeño porcinos.

Es posible que la alimentación a cerdos de DDGS que contienen lípidos oxidados, requiera de la suplementación de niveles más altos de antioxidantes (por ejemplo, Vitamina E) que lo que actualmente se usa. Por ejemplo, la suplementación de antioxidantes adicionales mejora el desempeño del crecimiento en dietas alimentadas a cerdos con DDGS o aceite de maíz oxidado (Harrell et al., 2010). Sin embargo, los resultados de otros estudios han mostrado que no tiene efecto la suplementación de antioxidantes sobre el desempeño del crecimiento en animales bajo el desafío del estrés oxidativo de la dieta (Wang et al., 1997b; Anjum et al., 2002; Fernández-Dueñas, 2009).

Recientemente, Song et al. (2012) realizaron un estudio para evaluar los efectos de alimentar DDGS con un alto contenido de lípidos oxidados sobre el desempeño del crecimiento de los cerdos y el estatus de oxidación metabólica, y para determinar si se podía superar alguno de los efectos negativos con el incremento del nivel de vitamina E en la dieta. El contenido total de S fue más alto en las dietas de DDGS que en las dietas control de maíz y harina de soya (0.39 contra 0.19%, respectivamente). La inclusión en la dieta de 30% de DDGS mejoró la digestibilidad total aparente del S en el intestino (86.8 contra 84.6%) y el S retenido, en comparación con las dietas a base de maíz y harina de soya. Aunque en este estudio los cerdos se alimentaron con DDGS altamente oxidados, el TBARS de suero fue similar entre los tratamientos de DDGS y el control, y no hubo interacción entre los DDGS y la concentración de la vitamina E de la dieta en el TBARS sérico. Las concentraciones de α -tocoferol séricas fueron más altas en los cerdos alimentados con las dietas de DDGS en comparación con aquellos alimentos con las dietas control cuando no se proporcionó acetato de α -tocoferil (vitamina E) o se proporcionó al nivel del NRC (1.61 contra 0.69 $\mu\text{g/mL}$, respectivamente). Los cerdos alimentados con dietas de DDGS presentaron concentraciones séricas más altas de aminoácidos azufrados, particularmente metionina y taurina, en comparación con aquellos alimentos con las dietas control. La concentración de glutatión hepático fue más alta en cerdos alimentados con dietas de DDGS que en las dietas de maíz y harina de soya (56.3 contra 41.8 nmol/g, respectivamente). La inclusión en la dieta de DDGS y vitamina E aumentó la actividad enzimática sérica de la peroxidasa de glutatión. Las concentraciones elevadas de antioxidantes azufrados (metionina, taurina y glutatión) *in vivo* pueden proteger a los cerdos contra el estrés oxidativo cuando se alimentan de DDGS altamente oxidados. Por lo tanto, los mayores niveles de vitamina E en la dieta quizás no sean necesarios para proteger a los cerdos contra el estrés oxidativo metabólico cuando se alimentan de DDGS altos en azufre y altamente oxidados.

Conclusiones

Las estrategias de alimentación que aumentan el consumo de forraje, reducen la variabilidad en el consumo de alimento y estabilizan el pH ruminal, lo que reduce el riesgo de la toxicidad por S. Al proporcionar 15% de forraje en la dieta de finalización después de 30 días con una dieta alta en concentrado, va a permitir alimentar dietas con hasta 0.50% de S sin riesgo de toxicidad por S. La determinación de la variabilidad del contenido del S en los DDGS de lote en lote, permitirá el establecimiento de márgenes de seguridad aceptables para usarse en la formulación de las dietas. Debe también considerarse el contenido de sulfato del agua y su consumo cuando se maneje el consumo total de S del ganado de engorda. La alimentación de

dietas con 30% de DDGS que contengan alto contenido de lípidos oxidados y de azufre (0.95%) aumenta los antioxidantes azufrados y previene el estrés oxidativo metabólico en cerdos jóvenes.

Bibliografía

- Anjum, M. I., M. Z. Alam and I. H. Mirga. 2002. Effect of nonoxidized and oxidized soybean oil supplemented with two levels of antioxidant on broiler performance. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 15:713-720.
- Atmaca, G. 2004. Antioxidant effects of sulfur-containing amino acids. *Yonsei Med. J.* 45: 776–788.
- Boyles, S. 2007. Distillers Grains with Solubles. OSU Extension Beef Team, BEEF Cattle Letter 551.
- Drewnoski, M., S. Hansen, D. Loy, and S. Hoyer. 2011. How much distillers grains can I include in my feedlot diet? Iowa Beef Center, Iowa State University Extension, IBC 46. 3 pp.
- Fernández-Dueñas, D. M. 2009. Impact of oxidized corn oil and synthetic antioxidant on swine performance, antioxidant status of tissues, pork quality and shelf life evaluation. Ph.D. dissertation thesis, Urbana, IL.
- Harrell, R. J., J. Zhao, G. Reznik, 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 of DDGS. *J. Anim. Sci.* 88 (Suppl. 3): 97 (Abstr.).
- Kim, B. G., Y. Zhang, and H. H. Stein. 2012. Sulfur concentration in diets containing corn, soybean meal, and distillers dried grains with solubles does not affect feed preference or growth performance of weanling or growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:272–281.
- Miller, J. K. and E. Brzezinska-Slebodzinska. 1993. Oxidative stress, antioxidants and animal function. *J. Dairy Sci.* 76:2812–2823.
- National Research Council. 1996. Nutrient requirements of beef cattle. 7th revised edition. National Academy Press, Washington, D.C.
- National Research Council. 1998. Nutrient Requirements of Swine (9th Ed.). National Academy Press, Washington, DC.
- Pfalzgraf, A., M. Frigg, and H. Steinhart. 1995. α -Tocopherol contents and lipid oxidation in pork muscle and adipose tissue during frozen storage. *J. Agric. Food Chem.* 43:1339-1342.
- Song, R., C. Chen, L. J. Johnston, B. J. Kerr, T. E. Weber, and G. C. Shurson. 2012. High sulfur content in dried distillers grains with solubles (DDGS) protects against oxidized lipids in DDGS by increasing sulfur-containing antioxidants in nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 90 (Suppl. 2):11 (Abstr.).
- Vanness, S.J., T.J. Klopfenstein, G.E. Erickson, and K.K. Karges. 2009. Sulfur in Distillers Grains. Nebraska Beef Report, University of Nebraska-Lincoln, p. 79-80.
- Wang, S. Y., W. Bottje, P. Maynard, J. Dibner, and W. Shermer. 1997b. Effect of santonin and oxidized fat on liver and intestinal glutathione in broilers. *Poult. Sci.* 76:961-967.