

NUEVAS PERSPECTIVAS EN EL USO DE CO-PRODUCTOS DE LA INDUSTRIA DEL BIOETANOL EN LA FABRICACIÓN DE PIENSOS

T. J. Applegate¹, M. Latour¹, K.E. Ileleji², U. Hoffstetter³, I. Rodrigues³

¹Department of Animal Sciences, ²Department of Agricultural and Biological Engineering, Purdue University, ³Biomim GmbH, Herzogenburg, Austria

1.- INTRODUCCIÓN

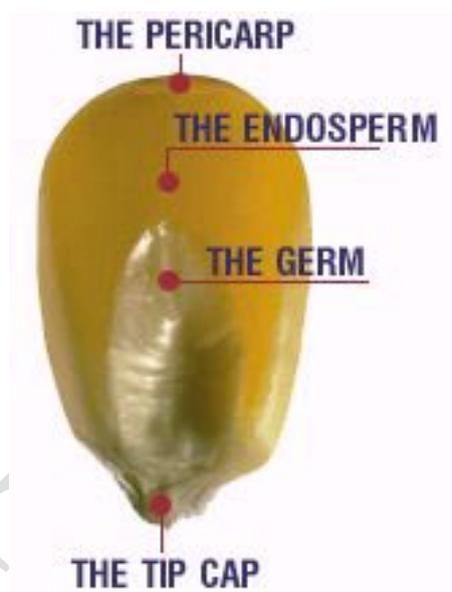
En 2007, un 33% de la cosecha de maíz en EEUU se utilizó para la industria y para la alimentación humana, un 21% del cual se usó para la producción de etanol (Corn Refiners Association, 2008). La disponibilidad geográfica y el elevado precio del maíz, unido al alto coste de los concentrados proteicos, ha incrementado el consumo de DDGS de maíz para la alimentación animal a lo largo del pasado año. Así, una encuesta de la industria de producción de pollos broiler muestra que la proporción de piensos que incluyen DDGS ha aumentado desde un 63% en 2007 hasta un 78% en 2008. Este incremento de uso ha generado un aumento de la comunicación entre la industria de piensos y la del etanol y un renovado interés hacia la calidad del co-producto y sobre sus estrategias de inclusión en las fórmulas. Este trabajo revisa los co-productos primarios de la obtención de etanol a partir de maíz, los factores que influyen en la calidad del producto (incluyendo contenido en micotoxinas y variaciones nutricionales), así como cuestiones relacionadas con su inclusión en fórmulas para animales no-rumiantes.

2.- PRODUCCIÓN DE CO-PRODUCTOS

Las condiciones de procesado previas a la fermentación del maíz para la producción de etanol pueden afectar en gran medida la cantidad, calidad y composición nutricional de los co-productos. La mayor parte del aumento de la producción de etanol en EEUU se espera que proceda de plantas de molienda en seco. Debido al gran incremento esperado en la producción de DDGS, se están desarrollando modificaciones a los sistemas tradicionales (por ejemplo, recuperación de fracciones no-fermentables, como el germen, lípidos y fracción fibrosa). Como consecuencia, se están empezando a obtener DDGS con diferente valor nutritivo.

El grano de maíz está formado por cuatro partes principales (ver figura 1). El endospermo es la más importante, constituyendo un 82% del grano. Sus principales componentes son almidón y proteína. La fracción amilácea es la que se fermenta a etanol. El germen es la siguiente fracción en orden de importancia (un 12% del peso del grano) y contiene la mayor parte del aceite. El pericarpio (5% del grano) es el salvado de la semilla. La piloriza es el tejido inerte que une el grano a la mazorca y supone un 1% del peso del grano.

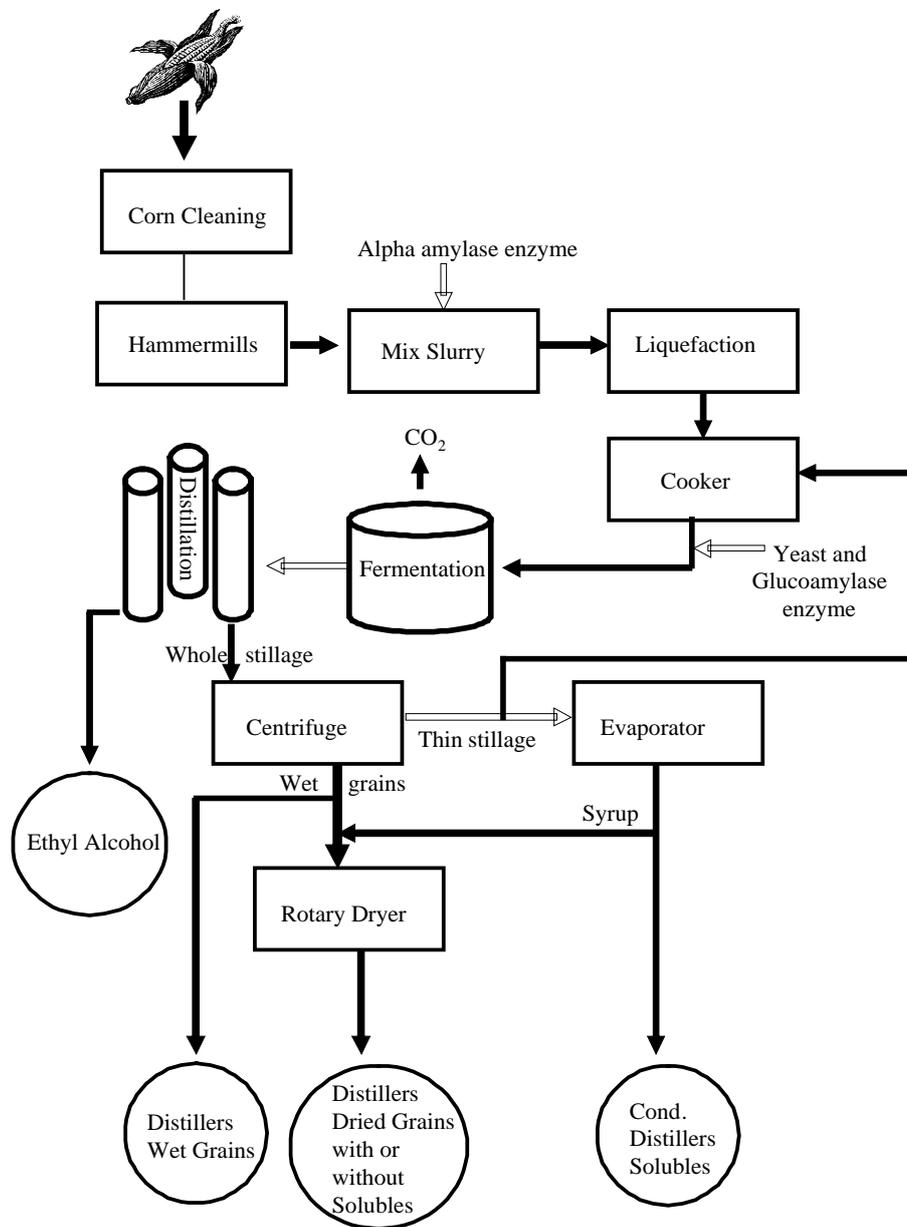
Figura 1. Principales componentes del grano de maíz



2.1.- Proceso de molienda en seco del maíz

La molienda en seco es el procedimiento más utilizado en las plantas de bioetanol y parte de la molienda inicial del grano en un molino de martillos. El maíz molido se mezcla con agua, se ajusta el pH, la mezcla se calienta y se añaden enzimas para optimizar el proceso de fermentación con levaduras (figura 2). Después de la fermentación, permanece la mayor parte de la grasa y de la fracción fibrosa del grano, mientras que la mayor parte del almidón (dependiendo de la eficacia del proceso y del tiempo) se convierte en etanol. El agua y los sólidos resultantes (*whole stillage*) se recogen de la base del destilador y son centrifugados para obtener una fracción líquida (*thin stillage*, que puede ser concentrada o desecada en los 'solubles condensados de destilería') y sólidos gruesos. Los sólidos gruesos pueden suministrarse en forma seca o húmeda, con o sin adición de los solubles condensados de destilería, para obtener los granos secos de destilería con (DDGS) o sin solubles (DDG). Los DDGS suponen entre un 27 y un 30% del peso original del grano de maíz y contienen aproximadamente un 25-28% de proteína, un 11% de grasa y un 7-9% de fibra.

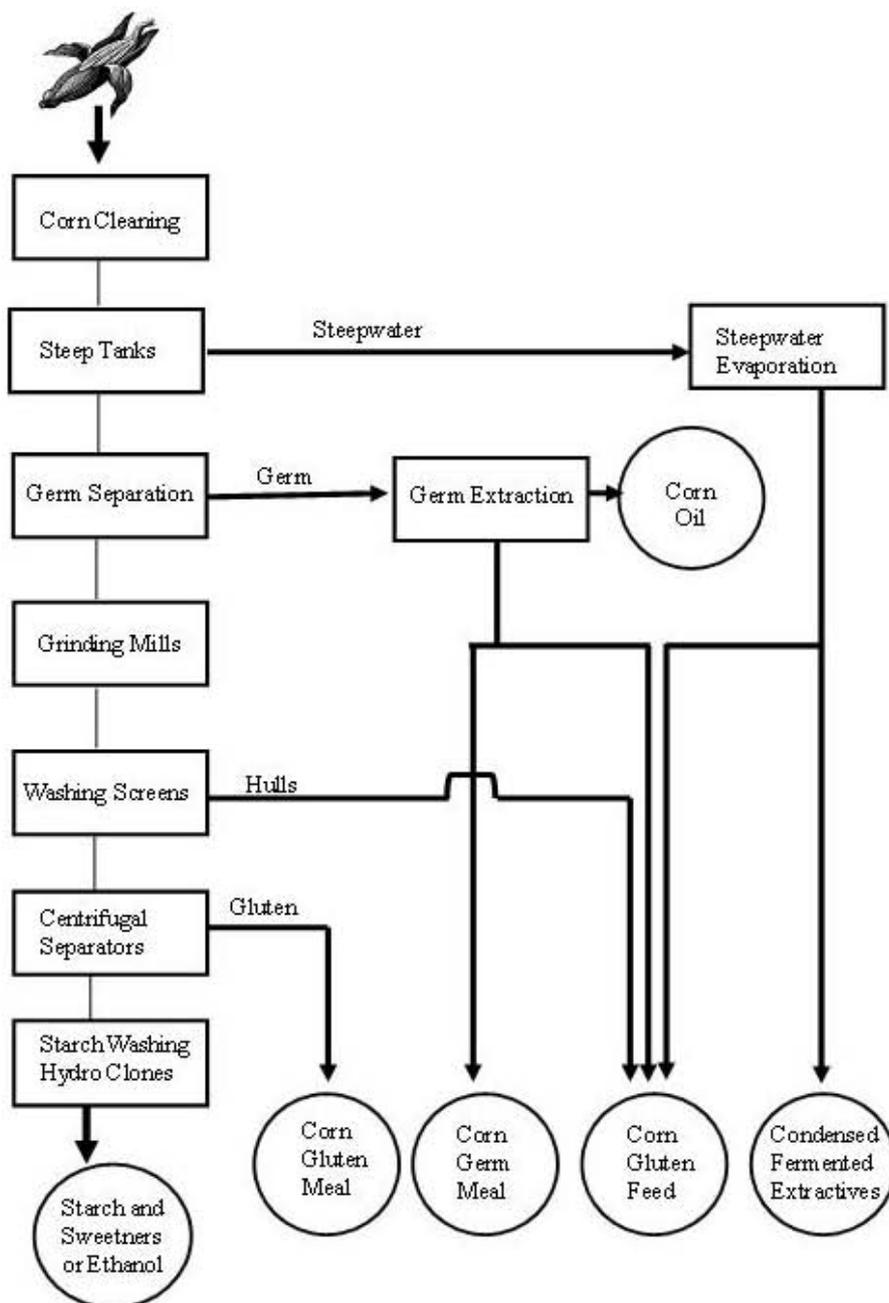
Figura 2.- Visión general del proceso de molienda en seco y de los co-productos obtenidos



2.2.- Proceso de molienda en húmedo del maíz

La molienda del maíz en húmedo fue un proceso diseñado originalmente para la producción de almidón de maíz puro. Sin embargo, está siendo también utilizado en algunos casos antes de la fermentación para mejorar su eficacia y producir co-productos de distinto valor añadido (figura 3).

Figura 3.- Visión general del proceso de molienda en húmedo y de los co-productos obtenidos.



Para este proceso, el maíz se deja en remojo en una solución alcalina diluida (*steeped*) para ablandar el grano y hacer solubles algunos de sus componentes. El agua de maceración se evapora en parte para concentrar estos nutrientes, resultando en un ingrediente rico en energía y proteína (50% sobre materia seca) denominado ‘extractivos condensados de maíz fermentado’ o licor de maceración de maíz. Este ingrediente se

comercializa a menudo como alimento líquido (con un 50% de sólidos), o bien se combina con otros co-productos y se vende como 'gluten feed'. A continuación se separa el germen para la extracción del aceite, después de lo cual se vende el germen (húmedo o seco) como un ingrediente alimenticio rico en proteína – harina de germen de maíz (20% proteína, 2% gras, y 9,5% fibra). La fracción restante del grano, conteniendo el almidón y la proteína del gluten, se tamiza para separar la fracción fibrosa de salvado. Los dos principales co-productos del proceso de molienda en húmedo del grano de maíz son:

- 1) **Gluten feed de maíz** (22% del peso original del grano): residuo (húmedo o seco) remanente después de la extracción de la mayor parte del almidón, gluten y germen. Está compuesto principalmente de salvado de maíz y contiene típicamente un 20-25% de proteína.
- 2) **Gluten meal de maíz** (4,5% del peso original del grano): residuo seco remanente después de la extracción de la mayor parte del almidón, germen y salvado del grano, compuesto por un 60-65% de proteína. Es un excelente pigmentante para avicultura y puede utilizarse como fuente de proteína by-pass en rumiantes.

2.3.- Tecnologías adicionales de procesado de maíz

Recientemente se han desarrollado algunas tecnologías para permitir una fermentación más eficiente del etanol y la obtención de co-productos de alto valor añadido (Singh et al., 2005; Martinez-Amezcu et al., 2007). Los co-productos para la alimentación animal pueden diferir en composición con respecto a los tradicionales descritos anteriormente. Se están desarrollando varios métodos que parecen prometedores para proporcionar alimentos de alta calidad, a través de mejoras en las propiedades fermentativas. Si el salvado y el germen se extraen del grano antes de la fermentación, se genera un co-producto con un alto contenido en proteína. Un beneficio esperable en este co-producto sería una mayor consistencia en su composición en nutrientes, que ha sido una de las principales críticas a los DDGS por parte de la industria avícola (Batal y Dale, 2006; Waldroup et al., 2007). El rendimiento para la obtención de estos co-productos, sin embargo, disminuye desde los 321 kg/Tm de maíz para los DDGS tradicionales hasta los 70-125 kg/Tm para los DDGS modificados.

El método '*Quick germ quick fiber*' incluye la puesta en remojo del maíz molido en agua con enzimas para aumentar el peso específico, y situar el germen y la fibra en el sobrenadante antes de la fermentación. Esto resulta en un producto con un 28% de proteína, un 5% de grasa y un 25% de fibra neutro detergente.

El proceso de *molienda en seco modificado* extrae el germen (desgerminador de tambor) y la fibra del pericarpio al comienzo del proceso de molienda en seco, previo a la fermentación. Esto resulta en un producto con un 24% de proteína, un 8-9% de grasa y un 28% de fibra neutro detergente.

El proceso '*elusieve*' incluye el fraccionamiento de los DDGS para extraer la fibra por tamizado y aspiración con aire. Esto resulta en un producto con más de un 40% de proteína, un 15% de grasa y un 20% de FND.

En el futuro, posibles modificaciones de las levaduras utilizadas en la fermentación pueden permitir cambios adicionales, por ejemplo DDGS con un contenido superior en lisina.

3.- ASPECTOS DE MANEJO

En el proceso de molienda en seco del maíz para la producción de etanol se obtienen, por término medio, 182,5 l de etanol, 321 kg de DDGS y 321 kg de CO₂ por cada Tm de grano. Los DDGS tradicionales de maíz son una mezcla de dos productos, los granos húmedos de destilería (fase granular con un 65% de humedad) y los solubles (fase líquida), con DDGS con un 10-12% de humedad para llegar a un producto final con menos de 35% de agua. Esto permite un ahorro en el proceso de desecación de alrededor de un 10% de energía con respecto a desecar DDGS con un 65% de humedad. Sin embargo, este procedimiento implica que una parte del producto pase más de una vez por los desecadores. Además si la mezcla no es uniforme, se incrementa la variabilidad entre partidas del producto final de DDGS. Variaciones entre partidas y entre plantas han sido descritas por Belyea et al. (1998) y Shurson (2005), respectivamente. En su estudio sobre la composición del maíz y de los DDGS producidos en plantas de etanol de molienda en seco Belyea et al (2004) han indicado que la variación en los DDGS no estuvo relacionada con la variación en la composición del grano, y que fue probablemente debida a la variabilidad entre las técnicas de procesado. Además, Belyea et al. (2004) encontraron que la proteína de levaduras puede suponer una fracción apreciable de la proteína de los DDGS.

La habilidad de los DDGS para fluir por las tolvas de descarga se ha citado como uno de los principales obstáculos para expandir los mercados existentes (Cooper, 2005). Recientemente, las dos compañías de ferrocarriles de clase A existentes en los EEUU, que habían permitido el transporte de DDGS con anterioridad, declararon que no aceptarían más envíos en adelante (Ethanol Producer Magazine, 2005). Además, los exportadores en el Pacific Northwest han rehusado manejar DDGS por estos problemas de fluidez, dejando a los productores con la única opción de alquilar o adquirir sus propios vagones de

ferrocarril (Cooper, 2005). Los expertos de la industria estiman que este problema incrementa en aproximadamente 5,5 \$ USA/Tm el coste de envío de los DDGS por vía marítima, es decir en alrededor de 39 millones \$ USA por año, exclusivamente por el aumento de gastos de transporte. Con una producción de etanol esperada para 2010 un 100% superior, los costes para la industria ascenderían a más de 66 millones \$ USA, a menos que se consiga resolver el problema (Ethanol Producer Magazine, 2005).

Las variaciones típicamente atribuidas por los nutricionistas pueden también ser debidas a la segregación de partículas a causa bien de la gravedad en el momento de la descarga o por vibraciones durante el transporte (Ileleji et al., 2007). Una mayor uniformidad en el tamaño de partículas de los DDGS puede permitir reducir la segregación y la variabilidad nutricional (Clementson et al., 2007). La mayor parte de la variabilidad de la distribución de partículas ocurre como consecuencia de la segregación de los diferentes componentes del grano (es decir, pericarpio, germen y endospermo) y origina por tanto diferencias en la composición nutritiva (Ileleji et al., 2007). En consecuencia, el lugar de toma de muestras afecta considerablemente el tamaño de sus partículas y su contenido en nutrientes.

En estudios realizados en cooperación con una planta de producción de etanol en el Medio Oeste, se determinó la segregación de partículas y sus efectos sobre el tamaño resultante y la composición. La figura 4 ilustra dónde se recogieron las muestras de dos pilas de 5,2 m (Clementson et al., 2007). La distribución de partículas (figura 5) y la composición química (cuadro 1; particularmente proteína bruta, cenizas y humedad) fueron afectadas grandemente por el lugar de la pila donde se tomaron las muestras.

Figura 4.- Distribución de las muestras recogidas (3,8 l por muestra utilizando usando una sonda de vacío para granos) de dos pilas de DDGS de 5,2 m (la pila de la izquierda estaba intacta, mientras que la de la derecha se había consumido parcialmente) (Clementson et al., 2007)

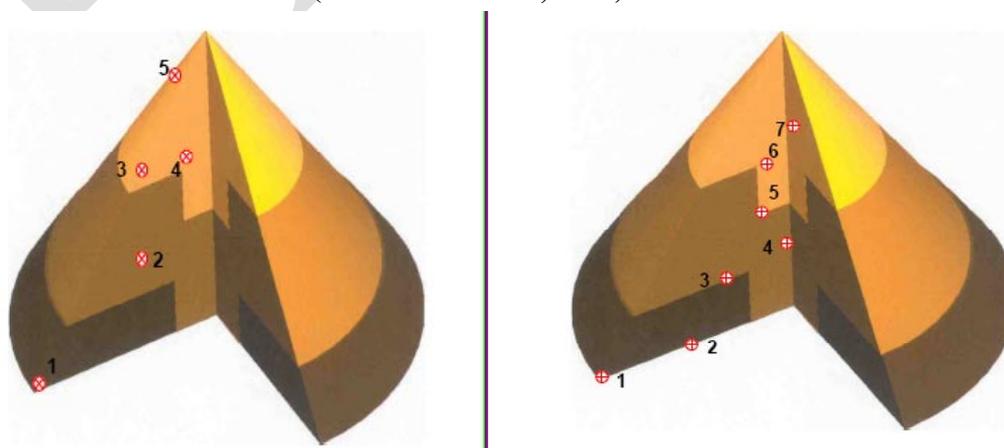
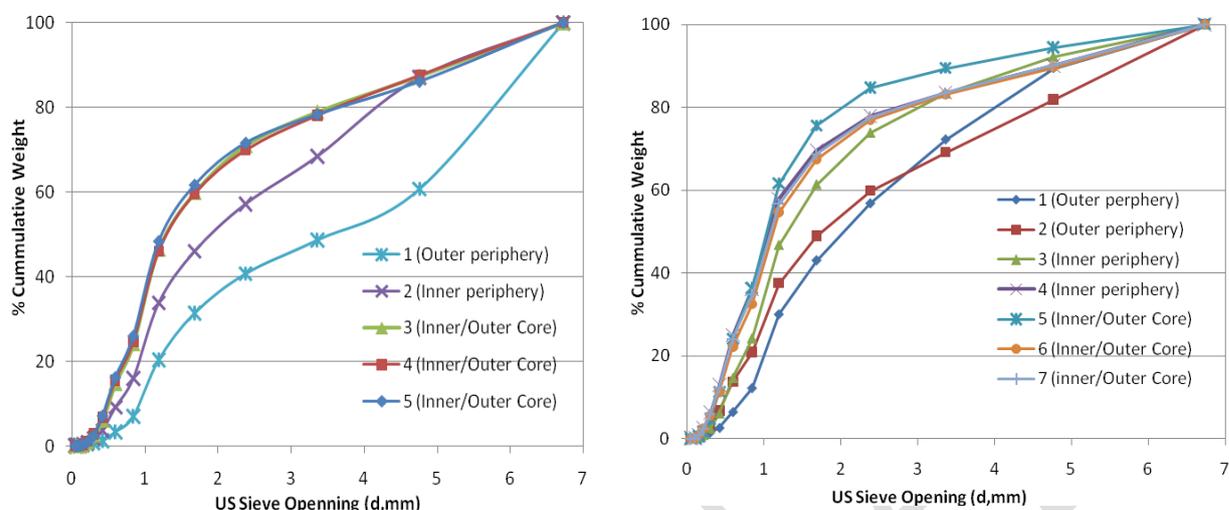


Figura 5. Distribución de tamaños de partículas para la pila intacta (izquierda) y la parcialmente consumida (derecha) (Clementson et al., 2007)



Cuadro 1.- Composición química de zonas seleccionadas de la pila intacta (izquierda) y de la parcialmente consumida (derecha) (Clementson et al., 2007)

Pila	Localiz. muestra #	Proteína Bruta (%)	Grasa Bruta (%)	Fibra Bruta (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)
Intacta (izq.)	1	23,9	10,5	5,6	4,0 ^a	14,9 ^a
	2	23,8	10,8	5,7	4,1 ^b	14,2 ^b
	5	24,1	11,5	6,0	4,0 ^a	11,3 ^c
P<		0,50	0,145	0,35	0,0001	0,0001
Parcialmente consumida (dcha)	1	24,6 ^a	11,0	5,9	4,0 ^a	13,4 ^a
	3	25,1 ^b	11,3	6,2	4,2 ^b	10,1 ^b
	5	24,5 ^c	11,1	6,2	4,2 ^b	11,2 ^a
P<		0,016	0,30	0,44	0,0009	0,018

^{abc} Valores de columnas en la misma categoría con la misma letra no difieren significativamente ($P > 0,05$).

4.- CONCENTRACIÓN DE MICOTOXINAS

El proceso fermentativo utilizado para la producción de DDGS no destruye las micotoxinas. Una consecuencia no deseada es que los animales consuman niveles elevados de estos componentes, que se encuentran concentrados alrededor de tres veces con respecto a su contenido en el grano (Wu y Munkvold, 2008). En los casos en los que la planta de etanol esté comprando granos dañados o en los años en los que la contaminación con micotoxinas en campo es superior, esto puede representar un grave problema.

Desde 2006, Biomin GmbH ha recogido 191 muestras de DDGS en distintos países (un 57% de las cuales en EEUU) para encuestar la presencia o ausencia de contaminación con micotoxinas así como su severidad. Las micotoxinas testadas incluían aflatoxina (Afb₁), zearalenona (ZON), deoxinivalenol (DON), fumonisina (FUM), y toxina T-2. Todos los tests fueron realizados por Quantas Analytics GmbH., Austria, y Romer Labs Singapore Pte. Ltd. Aflatoxinas, ZON y FUM total fueron analizados por HPLC (High Pressure Liquid Chromatography), mientras que los valores de DON fueron obtenidos por TLC (Thin Layer Chromatography). Para el análisis de datos, los niveles no-detectables están basados en los límites de cuantificación de los métodos utilizados para cada toxina: Afb₁ <0,5 µg/kg, ZON <10 µg/kg; DON <150 µg/kg; toxina T-2 <30 µg/kg y FUM <25 µg/kg.

Solo un 4% (8) de las muestras testadas resultaron negativas a la presencia de micotoxinas. Todos las muestras de DDGS de maíz estaban contaminadas por al menos una micotoxina, excepto una procedente de Australia. Hubo seis muestras de DDGS de mandioca en las que la concentración de micotoxinas estuvo por debajo de los límites de detección. Una muestra de DDGS de trigo fue también testada como negativa. Notablemente, un 5% de las muestras contenían sólo una micotoxina, mientras que un 91% contenían más de una. Otros resultados del estudio pueden encontrarse en el cuadro 2.

Cuadro 2.- Incidencia de contaminación con micotoxinas en muestras de DDGS (n=191; Biomin, GmbH).

	AfB1	ZON	DON	FUM	T-2
% positivos	13	87	70	88	12
Media (ppb)	1	208	1504	767	11
Máximo (ppb)	89	8107	12000	9042	226

5.- ASPECTOS RELACIONADOS CON LA NUTRICIÓN DE NO-RUMIANTES

La cantidad de DDGS que puede incluirse en piensos depende de la calidad del producto obtenido en la industria con respecto a los factores limitantes descritos anteriormente. Hay varios aspectos en particular que deben destacarse. Así por ejemplo, los procesos de desecación de los DDGS resultan a menudo en un daño por exceso de calor de una parte de la proteína, por lo que existen dudas sobre la variabilidad en su calidad y valor proteico. Las variaciones entre plantas de producción tienden a ser más grandes que dentro de cada una de ellas, pero existe también variabilidad ligada al tiempo de fermentación o a su eficacia, al posible daño recibido durante su tratamiento térmico y a la cantidad de solubles de destilería reciclada antes de la desecación. Tras analizar 17 muestras de DDGS tradicionales, Batal y Dale (2006) reportaron que el contenido en grasa

explicaba un 29% de la variación en la EMVn entre muestras (probablemente por diferencias en el reciclado de solubles), y un 14% adicional era explicado por variaciones en el contenido en fibra bruta. En cambio las variaciones en el contenido en proteína bruta o cenizas parecían tener poco efecto (Batal y Dale, 2006).

5.1.- Disponibilidad de aminoácidos

El contenido en nutrientes de los DDGS entre plantas y dentro de una planta es bastante variable, con un rango de valores comprendido entre 87-93% para la materia seca, 23-29% para proteína bruta, 3-12% para grasa bruta, 3-6% para cenizas y 0,59-0,89% para lisina (Cromwell et al., 1993; Spiels et al., 2002). Los procesos de secado de los DDGS pueden resultar en proteínas dañadas por calor, lo que reduce drásticamente la digestibilidad de algunos aminoácidos como la lisina. Así por ejemplo, la digestibilidad de la lisina puede variar entre 59 y 84% en aves (Fastinger et al., 2006; Parsons et al., 2006). Igualmente, Stein et al. (2006) reportaron valores de digestibilidad de la lisina en cerdos comprendidos entre 43,9 y 77,9%. El perfil de aminoácidos de la dieta se altera si se incluye una elevada proporción de DDGS, de forma que se incrementa la necesidad de suplementación con lisina digestible.

Como consecuencia de la variabilidad en la concentración y disponibilidad de nutrientes, no es fácil formular piensos con DDGS. Si el contenido en nutrientes está sobreestimado, puede observarse un descenso en los rendimientos productivos. Así por ejemplo, Shurson et al. (2004) reportaron una menor ganancia de peso en cerdos en crecimiento-cebo cuando los DDGS se incluían en el pienso a niveles superiores a un 10%.

5.2.- Valor energético de los DDGS

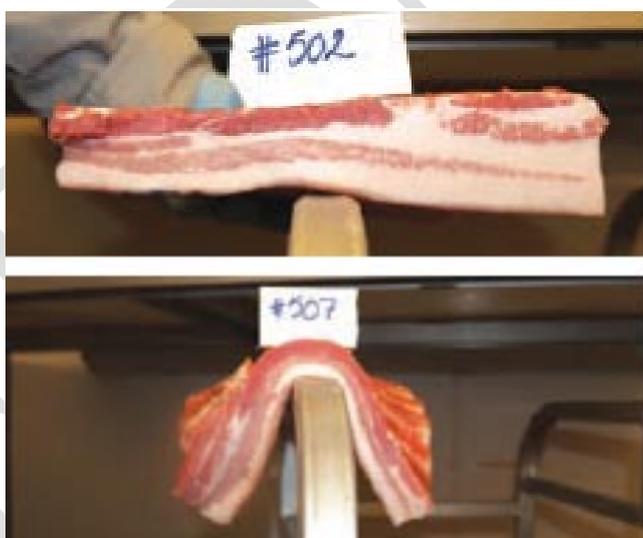
La mayoría de los DDGS contienen más grasa que el grano de maíz. Por tanto, la inclusión de DDGS en piensos de aves modifica el nivel y tipo de grasa. Además, el valor energético de los DDGS puede variar como consecuencia de la caramelización del almidón durante el proceso de secado. Así, por ejemplo, la concentración en EMn puede oscilar entre 2607 y 3054 kcal/kg (Batal y Dale, 2004; Parsons et al., 2006).

Buena parte de la variación en la digestibilidad de los nutrientes de los DDGS está relacionada con las condiciones de procesado. Las temperaturas de secado pueden variar entre 138 y 538° C dependiendo del equipo de secado. Además, los solubles pasan a través de una serie de evaporadores a elevada temperatura para aumentar su contenido en sólidos antes de ser mezclados con los granos húmedos de destilería para formar los DDGS. Por tanto, es probable que el daño térmico de los nutrientes empiece antes de esa mezcla. Además, la cantidad de sirope o solubles añadida puede variar de una planta a otra.

En trabajos recientes de nuestro Departamento (Applegate et al., datos no publicados), se determinó un valor EMAn de 1440, 2444, y 2706 kcal/kg para DDG(S) con 0, 99, ó 198 L/min añadidos de solubles. Una gran parte de estas diferencias pueden atribuirse al contenido en grasa del sirope.

El alto contenido en grasa de los DDGS y su perfil de ácidos grasos puede tener un impacto negativo sobre la calidad de la grasa en porcino. La composición de la grasa de la dieta puede tener un elevado efecto sobre la composición de la grasa de la canal, de forma que la inclusión de niveles altos de DDGS puede reducir la firmeza de la grasa, aumentar su riesgo de oxidación y disminuir la capacidad de la panceta para ser fileteada. Tal como se muestra en la figura 6, la muestra de panceta 502 es firme, lo que se considera ideal para su fileteado a elevada velocidad en los centros de procesado. La panceta 507 en cambio es blanda y característica de un perfil de ácidos grasos en el pienso altamente insaturado. El ácido graso que contribuye específicamente a la formación de grasa blanda es el ácido linoleico, muy abundante en los DDGS (Latour y Schinckel, 2007).

Figura 6.- Panceta de cerdos alimentados con con grasas saturadas (#502) versus los alimentados grasa insaturadas (como las de los DDGS, #507) (Latour y Schinckel, 2007)



Además de los cambios en la calidad de la panceta en función de la inclusión de altos niveles de DDGS, otros productos terminados pueden ser también ser afectados negativamente por la menor firmeza de la grasa. Las salchichas, por ejemplo, están normalmente constituidas por un 70-80% de carne magra y un 20-30% de grasa. Independientemente de la proporción, si la grasa es excesivamente blanda se deslizará sobre el magro al hacer presión cuando se empaquetan unas salchichas a otras. En la Figura 7, la parte superior ilustra el efecto de la grasa blanda, ya que se ha deslizado a lo largo de la porción magra y da una apariencia aceitosa que no se considera deseable. En la parte

inferior de la figura se ilustra qué apariencia debería tener la zona en contacto entre las salchichas. Este impacto visual se traduce en diferencias de valor comercial, que se estiman en 2,2 \$ USA por kg superior en las salchichas de la parte inferior que las de la parte superior.

Figura 7.- Salchichas de cerdos alimentados con grasa insaturadas (como las de los DDGS, arriba) vs los alimentados con grasas saturadas (abajo).



5.3.- Contenido y disponibilidad de minerales en los DDGS

El contenido en P de los DDGS puede oscilar entre 0,62 y 0,77% (versus un 0,3% en el grano de maíz; Parsons et al., 2006). La biodisponibilidad relativa (versus el monofosfato potásico), es al menos de dos a tres veces superior a la del maíz y puede variar entre un 62 y un 100% (Amezcuca et al., 2004; Parsons et al., 2006). Sin embargo, Stein et al. (2006) obtuvieron una digestibilidad aparente del P de los DDGS en el conjunto del aparato digestivo de cerdos de sólo un 55,9%. La incorporación de los DDGS en piensos debería tener en cuenta tanto su contenido en P total como en P disponible, para evitar un incremento en los niveles de excreción de P en el estiércol.

A menudo se añade cloruro sódico a los DDGS para ayudar en el proceso de desecación. El sodio es un elemento esencial, pero si se incluye a niveles más elevados de

los que necesita el ave puede conducir a un incremento del consumo de agua y a la aparición de heces húmedas. La cama húmeda puede ser también causa de crecimiento bacteriano adicional, lo que puede predisponer a un aumento de la susceptibilidad de los animales a infecciones intestinales. Parsons et al. (2006) observaron una considerable variación en el contenido en sodio de muestras de DDGS (entre un 0,05 y un 0,17%), que es considerablemente superior al contenido en sodio del maíz (0,02%). De forma similar, Batal y Dale (2003) observaron una variación en el contenido en sodio que se muestra en el cuadro 3. Por tanto, el contenido en sodio de los DDGS debería controlarse estrechamente para su uso en piensos de aves.

Cuadro 3.- Variación en el contenido en Na y S entre muestras de DDGS (Batal y Dale, 2003)

Muestra	Sodio (%)	Azufre (%)
1	0,09	-
2	0,12	-
3	0,29	-
4	0,11	0,58
5	0,12	0,87
6	0,11	0,45
7	0,09	0,94
8	0,42	1,06
9	0,44	1,04
10	0,39	0,78
11	0,43	1,10
12	0,43	0,73
Media \pm Dest	0,25 \pm 0,15	0,84 \pm 0,21
Proyección (3 x valor en maíz)	0,10	0,24

El interés por el uso de los DDGS ha planteado la pregunta sobre el impacto de esta práctica en la excreción de nutrientes y en las emisiones contaminantes, en particular con respecto al aumento del contenido del pienso en azufre. El azufre se usa como sustrato durante la descomposición microbiana y es responsable de la producción de compuestos volátiles tales como el metil mercaptano, el sulfuro de hidrógeno, el dimetil sulfuro, el dimetil disulfuro, el dimetil trisulfuro, y el carbonil sulfuro (Kadota & Ishida, 1972). Para analizar este tema, Powers et al. (2007) realizaron un estudio en ganado porcino para evaluar el uso de niveles crecientes de DDGS (desde un 5 hasta un 30% en el curso de seis fases de alimentación) sobre las emisiones al aire, utilizando como control un pienso en base a maíz. El suministro de DDGS no alteró los rendimientos productivos con respecto al pienso control cuando se ofrecieron a niveles crecientes a lo largo de la vida productiva. La cantidad de amoniaco emitido desde el alojamiento de los animales aumentó de forma

significativa al incrementarse la proporción de DDGS en el pienso (47% a lo largo de todas las fases productivas). Aunque los piensos con DDGS contenían más nitrógeno, el ajuste de los valores de las emisiones por la cantidad de nitrógeno ingerida no modificó la tendencia (36% de aumento en mg de NH₃ emitidos por kg de peso vivo), lo que sugiere una utilización inferior del nitrógeno de los DDGS. La cantidad de H₂S emitida desde la granja también se incrementó como resultado de la inclusión de DDGS en el pienso (130% de aumento a lo largo de todas las fases de alimentación) pero en este caso el ajuste de los datos por peso vivo e ingestión de azufre eliminó la mayor parte de las diferencias observadas (6% de incremento de emisiones de H₂S a lo largo de todas las fases de alimentación).

Los datos sobre el efecto de los DDGS en las emisiones contaminantes en aves son todavía muy escasos. Roberts et al. (2007) reportaron una reducción de las emisiones de NH₃ desde el estercolero cuando las gallinas ponedoras recibieron piensos con un 10% de DDGS; sin embargo, otras emisiones no fueron consideradas ni tampoco se indica la duración del periodo en el que se hicieron las determinaciones.

5.4.- Granulación de los DDGS y calidad del gránulo

Si la temperatura de los granos de destilería no es la adecuada cuando se reciclan los solubles, hay una tendencia hacia que se formen 'bolas de melaza'. Esto puede causar problemas sustanciales en su paso a través de la granuladora al quedar residuos pegados a los cilindros del tamiz. Además, si los DDGS se usan a niveles superiores al 5% del pienso, la durabilidad del gránulo puede verse reducida de manera importante debido a la elasticidad de la fibra dentro del co-producto (Shim et al, 2008).

5.5.- Otros aspectos nutricionales

El maíz es molido a menudo muy finamente antes de la fermentación para maximizar la eficacia de su conversión a etanol. Si el tamaño medio de partícula de los DDGS resultantes es inferior a 300 micras se reduce la fluidez de los DDGS durante las operaciones de embarque. Si el tamaño de partícula está comprendido entre 300 y 400 micras, una fracción significativa de los DDGS atravesará rápidamente la molleja, reduciendo su exposición a la digestión proteolítica. Esto puede resultar en una menor eficacia de digestión de los nutrientes. Además, un tamaño excesivamente fino de partícula puede causar úlceras gástricas en porcino (Wondra et al., 1995).

Existen tests rápidos disponibles para establecer la composición y disponibilidad de los nutrientes. Dos de ellos incluyen el análisis de reflectancia en el infrarojo cercano (NIRS) para aminoácidos totales y análisis enzimáticos *in vitro* para digestibilidad de

aminoácidos. El empleo de estos tests rápidos permite una formulación más precisa de los piensos para asegurar que las necesidades productivas de las aves sean cubiertas.

6.- CONCLUSIONES

La pregunta que cada uno ha de responder antes de incorporar DDGS en dietas de monogástricos es, por tanto, si el coste compensa el beneficio nutritivo. Por ejemplo, si se comparan dos fuentes de DDGS con contenidos similares de proteína, el valor nutricional de un DDGS con 2860 kcal/kg y una digestibilidad de la lisina del 82% será obviamente mayor que el de un DDGS con 2816 kcal/kg y 60% de digestibilidad. El problema, sin embargo, es que las decisiones de compra no siempre son tan sencillas. Normalmente se complican con otras limitaciones, incluyendo la disponibilidad, capacidad de almacenamiento, la distancia de transporte desde la planta y los límites de inclusión en los piensos (por ejemplo, por la concentración de sodio en los DDGS). Por tanto, las decisiones de compra y de precio deben tomarse en función de cada caso concreto.

7.- REFERENCIAS

- AMEZCUA, C., PARSONS, C.M. y NOLL, S.L. (2004) *Poultry Sci.* 83, 971-976.
- BATAL, A. y DALE, N. (2003) *J. Appl. Poult. Res.* 12, 400-403.
- BATAL, A. y DALE, N. (2004) *Poult. Sci.* 83(Suppl 1),317.
- BATAL, A. y DALE, N. (2006) *J. Appl. Poult. Res.* 15, 89-93.
- BELYEA, R., RAUSH, K.D. y TUMBLESON, M. (2004) *Bioresources Technology* 94, 293-298.
- BELYEA, R., ECKHOFF, S., WALLIG, M. y TUMBLESON, M. (1998) *Bioresources Technology* 66, 207-212.
- CLEMENTSON, C., ILELEJI, K. y STROSHINE, R. (2007) ASABE Paper No. 076214, Minneapolis, Minnesota.
- COOPER, G. (2005) An Update on foreign and domestic dry-grind ethanol co-products markets. <http://www.ncga.com/ethanol/pdfs/DDGSMarkets.pdf>
- CORN REFINERS ASSOCIATION (2008) <http://www.corn.org>. Accessed July. 2008.
- CROMWELL, G.L., HERKELMAN, K.L. y STAHLY, T.S. (1993) *J. Anim. Sci.* 71, 679-686.
- ETHANOL PRODUCERS MAGAZINE (2005) The Flowability Factor. July, 90-93, 110-111.
- FASTINGER, N.D., LATSHAW, J.D. y MAHAN, D.C. (2006) *Poult. Sci.* 85, 1212-1216.
- KADOTA, H. y ISHIDA, Y. (1972) *Ann. Rev. Microbiol.* 26,127-138.
- ILELEJI, K.E., PRAHASH, K.S., STROSHINE, R.L. y CLEMENTSON, C.L. (2007) *Bulk Solids Powder Sci. Tech.* 2, 1-11.

- LATOUR, M.A. y SCHINCKEL, A.P. (2007). The Influence of Dried Distillers' Grains on Carcass Fat in Swine. ID-345-W. *Purdue Cooperative Extension Service*. <http://www.ces.purdue.edu/extmedia/ID/ID-345-W.pdf>
- MARTINEZ-AMEZCUA, C., PARSONS, C.M., SINGH, V., SRINIVASAN, R. y MURTHY, G.S. (2007) *Poult. Sci.* 86, 2624-2630.
- PARSONS, C.M., MARTINEZ, C. SINGH, V., RADHAKRISHMAN, S., NOLL, S. y NOLL, S. (2006) Nutritional Value of Conventional and Modified DDGS for Poultry. *Proc. Multi-State Poultry Nutrition and Feeding Conference*
- POWERS, W., ANGEL, R. y APPLGATE, T.J. (2007) Dietary strategies to reduce emissions from broilers and laying hens. *Proc. Multi-State Poultry Nutrition and Feeding Conference*.
- ROBERTS, S.A., XIN, H., KERR, B.J., RUSSELL, J.R. y BREGEDAHL, K. (2007) *Poult. Sci.* 86, 1625-1632.
- SHIM, M.Y., PESTI, G.M., BAKALLI, R.I., TILLMAN, P., HOEHLER, D. (2008) *Poult. Sci.* 87 (Suppl 1.), 137-138
- SHURSON, G., SPIEHS, M., WHITNEY, D.M. (2004) *Pig News and Information* 25(2), 75N-83N.
- SHURSON, G.C. (2005) The Value and Use of Distiller's Dried Grains with Solubles (DDGS) in Swine Diets. *Proc. Carolina Nutr. Conf.* pp. 1-20.
- SINGH, V., JOHNSTON, D.B., NAIDU, K., RAUSH, K.D., BELYEA, R.L. y TUMBLESON, M.E. (2005) *Cereal Chem.* 82, 187-190.
- SPIEHS, M. J., WHITNEY, M.H. y SHURSON, G.C. (2002) *J. Anim. Sci.* 80, 2639-2645.
- STEIN, H. H., PEDERSEN, C., GIBSON, M.L. y BOERSMA, M.G. (2006) *J. Anim. Sci.* 84, 853-860.
- WALDROUP, P.W., WANG, Z, COTO, C., CERRATE, S. y YAN, F. (2007) *Intl. J. Poult. Sci.* 6, 478-483.
- WONDRA, K.L., HANCOCK, J.D., BEHNKE, K.C., HINES, R.H. y STARK, C.R. (1995) *J. Anim. Sci.* 73, 757-763.
- WU, F. y MUNKVOLD, M.P. (2008). *J. Agric. Food Chem.*, 56, 3900-3911)