

Composición nutritiva de los granos de destilería obtenidos de diversos cereales

La mayoría del etanol se produce a partir de los granos de maíz y trigo, pero el cultivo y la disponibilidad del primero y el precio del segundo han creado oportunidades para el uso de otras materias primas como veremos a continuación.

Fernando Díaz Royón y Álvaro García
Dairy Science Department
South Dakota State University
Fernando.Diaz@sdsu.edu
Imágenes cedidas por los autores

Casi el 98 % de los granos utilizados para producir etanol en EE. UU. son de maíz (Zhao *et al.*, 2009). Sin embargo, el clima frío del oeste de Canadá y de algunos países europeos no son apropiados para su cultivo y, por lo tanto, el trigo es la materia prima principal para la producción

de etanol. Por otro lado, las fluctuaciones cíclicas en el precio del trigo crean oportunidades para el uso de otras fuentes de almidón tales como la cebada, el triticale y el centeno (Mustafa *et al.*, 2000). La decisión de usar una materia prima en particular depende de la localización geográfica, los precios y la disponibilidad de otras materias primas en comparación con el maíz (Linwood Hoffman y Allen Baker, 2010).

Según Schulze *et al.* (2005), las materias primas representan del 55 al 70 %

del coste de producción del etanol. La viabilidad económica de una planta de etanol depende de varios factores, que incluyen el rendimiento de etanol, la eficiencia de la fermentación y la calidad de los granos de destilería (DDG) producidos (Wang *et al.*, 2008). En general, el rendimiento en la producción de etanol incrementa al aumentar el contenido en almidón del grano (Wang *et al.*, 2008).

La *tabla 1* muestra la composición nutritiva de varios cereales. El maíz presenta un mayor contenido en almidón y un menor contenido en fibra comparado con los otros granos. Varios trabajos han cuantificado los residuos de fermentación (DDG y "vinaza fina") obtenidos en el proceso de producción de etanol (Wu *et al.*, 1984, 1989; Solsulski *et al.*, 1994, 1997). Estos resultados ponen de manifiesto que el maíz es el cereal que menos residuos produce (29,7 % del grano original), comparado con el resto de los cereales (sorgo 32 %, trigo blando 39,8 %, centeno 40,4 %, triticale 41,2 % y cebada 45,8 %). La producción de mayor cantidad de material residual no es deseable, debido a que disminuye el rendimiento en la producción de etanol.

Lin y Chase (1996) indicaron que los factores más importantes que afectan a la variabilidad en la composición nutritiva de los DDG son el tipo y la calidad del grano, los procesos de molienda y fermentación, la temperatura de secado y la proporción de solubles añadidos a estos. Los datos de la *tabla 1* sobre composición de los granos de cereales muestran que el maíz es el grano de composición más uniforme (menores desviaciones estándar de la media, SD) en su contenido en almidón y proteína (SD = 1,0 y 0,3; respectivamente). Por el contrario, el sorgo es el grano más variable en el contenido de almidón. La concentración media de almidón del sorgo es de 67,73 % sobre materia seca (SD = 9,9), pero su concentración se encuentra entre el 56,3 % (CNCPS, 2009) y el 73,6 % (INRA, 2004).



DDG de maíz húmedos.

Además, la variación encontrada en los granos originales se amplifica en los coproductos obtenidos a partir de ellos. La escasa variabilidad encontrada en la concentración de proteína en granos de sorgo, trigo y cebada (SD = 0,7; 1,1 y 0,5; respectivamente, *tabla 1*) aumenta considerablemente al comparar el contenido en proteína de los DDG procedentes de estos granos (*tabla 2*; SD = 5,3; 6,7 y 6,9; respectivamente).

Las materias primas representan del 55 al 70 % del coste de producción del etanol.

DDG de sorgo

El grano de sorgo está compuesto por un 84 % de endospermo, la mitad del mismo de tipo córneo, que se caracteriza por gránulos de almidón de menor tamaño, y por estar estos envueltos estrechamente por una matriz proteica de tipo continuo de baja solubilidad compuesta de glutelina y prolamina (FEDNA, 2003). Como consecuencia, el sorgo es el cereal más resistente a la fermentación microbiana y el que presenta menor degradabilidad efectiva de la proteína (39 %, INRA 2004). La composición media en almidón y grasa (*tabla 1*) es ligeramente inferior a la del maíz (67,7 y 3,31 %, respectivamente), lo que unido al mayor contenido en fibra resulta en un menor contenido en energía (ENI = 1,85 Mcal/kg).

	Maíz	Sorgo	Trigo	Cebada	Triticale	Centeno
Nutrientes (% MS)						
FND	9,9±1,3	13,8±6,2	12,9±1,1	19,8±1,6	14,3±0,2	16,5±2,3
FAD	3,5±0,4	5,2±0,9	4,0±0,4	6,9±0,4	3,9±0,2	5,2±2,4
Lignina	0,7±0,4	1,1±0,3	1,2±0,4	1,8±0,4	1,1±0,2	1,1±0,1
almidón	73,8±1,0	67,7±9,9	66,9±2,3	57,0±2,8	64,9±3,4	59,8±1,9
PB	9,1±0,3	10,9±0,7	13,2±1,1	12,3±0,5	12,4±1,2	11,1±1,8
Grasa	4,5±0,6	3,3±0,3	2,0±0,2	2,1±0,1	1,7±0,1	1,6±0,2
Ceniza	1,50±0,08	1,8±0,26	1,9±0,1	2,9±0,3	2,0±0,1	1,9±0,2
Ca	0,04±0,01	0,04±0,02	0,06±0,02	0,07±0,01	0,07±0,01	0,07±0,03
P	0,24±0,13	0,34±0,01	0,40±0,03	0,41±0,03	0,37±0,03	0,36±0,02
S	0,13±0,02	0,11±0,01	0,26±0,19	0,14±0,02	0,16±0,01	0,14±0,04
Energía (Mcal/kg)						
ENm	2,13±0,05	1,98±0,04	2,11±0,06	2,15±0,18	2,01	2,02
ENg	1,45±0,04	1,31±0,01	1,45±0,03	1,35±0,01	1,37	1,34
ENI	1,97±0,15	1,85±0,09	1,91±0,16	1,80±0,17	1,85±0,20	1,89±0,12

Nutrientes: FND = fibra neutro detergente; FAD = fibra ácido detergente; PB = proteína bruta. ENm = energía neta (EN) de mantenimiento; ENg = EN de ganancia de peso; y ENI = EN de lactación. Los datos figuran como medias ± el desvío estándar. Fuentes: Adaptado de NRC, 2001; FEDNA, 2003; INRA, 2004; CNCPS, 2009.

	Maíz DDG	Sorgo DDG	Trigo DDG	Cebada DDG	Triticale DDG	Centeno DDG
Nutrientes (% MS)						
FND	40,1±26,1	38,3±10,7	43,4±17,3	60,9±17,9	40,6±17,4	70,0
FAD	18,9±7,5	22,7±7,9	18,0±4,7	28,5±3,8	15,6±3,2	19,8±0,1
Lignina	3,8±4,8	ND	5,8±1,5	7,0±1,6	5,5±0,3	7,10
Almidón	5,0±3,5	8,8±2,0	3,6±1,7	1,1±0,7	5,1±3,4	9,70
PB	31,2±1,1	34,1±5,3	38,6±6,7	24,7±6,9	30,6±0,5	29,3±0,7
ADIPB (% PB)	9,9±1,0	ND	7,1±2,3	16,5±2,0	10,7±6,4	6,5
Grasa	11,9±2,1	11,3±2,1	5,4±1,8	5,7±0,5	7,0±2,0	3,9±0,9
Ceniza	4,9±3,8	2,3±0,5	4,3±1,4	4,2±0,2	4,0±1,9	3,4±1,7
Ca	0,10±3,46	0,10	0,18±0,03	0,20	0,10±0,90	0,16
P	0,78±0,06	0,78±0,31	0,96±0,10	0,80	0,81	0,80
S	0,59±0,18	0,66	0,44±0,06	ND	ND	ND
Energía (Mcal/kg)						
ENm	2,38	2,49	2,23±0,21	1,87	2,48	2,26
ENg	1,69±0,01	1,73	1,56±0,21	1,24	1,75	1,58
ENI	2,28±0,02	2,24	2,08±0,20	1,73	2,10	2,12

Datos reportados como medias ± desviación estándar. ND= no disponible. Nutrientes: FND = fibra neutro detergente; FAD = fibra ácido detergente; PB = proteína bruta. ENm = energía neta (EN) de mantenimiento; ENg = EN de ganancia de peso; y ENI = EN de lactación. Fuentes: Datos de los DDG de maíz de Shelford y Tait, 1986; Weiss *et al.*, 1989; Lodge *et al.*, 1997; Al-Suwaiegh *et al.*, 2002; Greter *et al.*, 2008; Urriola *et al.*, 2009; Depenbusch *et al.*, 2009; Nuez-Ortín y Yu, 2009; May *et al.*, 2010; McKeown *et al.*, 2010; Oba *et al.*, 2010; Van De Kerckhove, 2010. Para DDG de sorgo los datos fueron adaptados de Lodge *et al.*, 1997; Al-Suwaiegh *et al.*, 2002; Urriola *et al.*, 2009; Depenbusch *et al.*, 2009; and May *et al.*, 2010. Para los DDGS de trigo los datos fueron adaptados de Boila y Ingalls, 1994; Ojowi *et al.*, 1997; Mustafa *et al.*, 2000; Beliveau y McKinnon, 2008; Gibb, Hao y McAllister, 2008; Nuez-Ortín y Yu, 2009; Penner, Yu y Christensen, 2009; Au *et al.*, 2010; McKeown *et al.*, 2010; Zhang, 2010; Van De Kerckhove, 2010. For barley distillers grain data adapted from Wu, 1986; Weiss *et al.*, 1989; Solsulski *et al.*, 1997; Mustafa, McKinnon y Christensen, 2000; y Mustafa *et al.*, 2000. Para los DDG de triticale datos adaptados de Mustafa *et al.*, 2000; Greter *et al.*, 2008; Au *et al.*, 2010; McKeown *et al.*, 2010; y Oba *et al.*, 2010. Para los DDG de centeno los datos adaptados de Shelford y Tait, 1986; Wang *et al.*, 1998; Mustafa *et al.*, 2000.





→ La *tabla 2* reporta los valores medios de composición de los DDG de sorgo procedentes de cinco trabajos de investigación. Se pueden apreciar mayores contenidos en proteína que los DDG procedentes del maíz (34,1 % *versus* 31,2 %) pero con mucha variabilidad entre los diferentes trabajos. El rango de proteína oscila entre 24,4 y 45 %. Estas variaciones aparecen incluso entre DDG producidos en una misma planta, pero con diferentes formas de presentación. Depenbusch *et al.* (2009) reportaron contenidos en proteína de 45 y 34 % para los DDG secos (92 % MS) y húmedos (36 % MS), respectivamente. Sin embargo, en este mismo trabajo, la concentración en proteína entre DDG de maíz húmedos y secos sólo varía en un 3 %.

La decisión de usar una materia prima en particular depende de la localización geográfica, los precios y la disponibilidad de otras materias primas en comparación con el maíz.

Aunque la concentración en grasa del grano de sorgo es un 26 % menor que la del maíz, los valores medios de grasa en los DDG provenientes de ambos son similares (11,26 *versus* 11,86 %). Este alto contenido en grasa es el responsable de que la energía de los DDG de sorgo y maíz sean similares (ENI = 2,2 Mcal/kg, *tabla 2*). El color más oscuro de los DDG de sorgo, debido a la coloración del grano utilizado como sustrato, es atribuido erróneamente a un exceso de temperatura durante el secado. Debido a esto, los DDG de sorgo tienen menor aceptación en el mercado.

DDG de trigo

En la *tabla 2* se pueden observar los valores medios de DDG de trigo obtenidos en 11 trabajos de investigación. El menor contenido en grasa de los DDG de trigo (5,4 %) con respecto al maíz y al sorgo disminuye su valor energético (ENI = 2,08 Mcal/kg). El valor medio en proteína (38,65 %) es muy variable, con un

rango de 26,4 a 45,8 %. Estas variaciones son debidas a los diferentes contenidos en proteína del grano original. Investigadores de Kansas State University (Zhao *et al.*, 2009) evaluaron el contenido en proteína de siete variedades comerciales de trigo blando. El valor proteico medio fue 11,5 %, pero los porcentajes oscilaron entre 9,6 y 14,7 %. Estas diferencias en contenido proteico de los granos se transmiten a los DDG derivados de estos. La concentración en proteína varía entre 28,2 y 37,6 %, con un promedio de 32,3 % (*tabla 2*).

DDG de cebada

El grano de cebada está compuesto por un 18 % de una cubierta fibrosa llamada pericarpio, un valor tres veces superior al del maíz y del sorgo (FEDNA, 2003). Además, el pericarpio de la cebada está lignificado y es abrasivo debido a la presencia de sílice en su capa más externa. La presencia de glumas en el grano implica un contenido elevado en fibra, aunque su grado de lignificación es bajo. Este elevado contenido en fibra convierte a la cebada en uno de los cereales con menor contenido en almidón (57 %) y energía (1,8 Mcal/kg). Gran parte de la fibra está constituida por β -glucanos en proporciones que van del 3 al 7 %, (Griffey, 2010), según la variedad, zona de procedencia y clima.

El uso de cebada en la producción de etanol como alternativa al maíz ha sido limitado debido a su bajo contenido en almidón, alta concentración de fibra, naturaleza abrasiva del pericarpio, y la presencia de β -glucanos (Hicks *et al.*, 2005). De hecho, de los cinco trabajos de investigación de los cuales se extrajo información sobre la composición de DDG de cebada (*tabla 2*), ninguno de ellos utilizó DDG exclusivamente de cebada. Dos de ellos (Mustafa 2000a, Weiss 1989) usaron DDG de cebada procedentes de biorrefinerías comerciales pero mezclados con otros cereales. En el resto de los trabajos (Mustafa 2000b, Wu 1986, Sosulki 1997) los procesos de fermentación se llevaron a cabo en fermentadores experimentales de laboratorio. Esta falta de homogeneidad en el proceso de fabricación provoca elevada variabilidad en la composición de los DDG, sobre todo en la FND (60,9 %) y en la proteína (24,7 %, *tabla 2*).

DDG de centeno

El grano de centeno está compuesto por un 11-13 % de pericarpio, no tan abundante como en la cebada, pero mucho mayor que el 6 % del sorgo y maíz (FEDNA, 2003). Esto ocasiona un contenido alto en FND (16,5 %) y bajo en almidón (59,8 %, *tabla 1*). El contenido en proteína del grano es superior al del sorgo y el maíz, pero inferior al resto de los cereales de granos pequeños. Sin embargo, los DDG de centeno tienen mayor concentración de proteína que los DDG de cebada (29,27 *versus* 24,62 %, respectivamente, *tabla 2*) pero ligeramente inferior a los DDG de triticale y de maíz. Los tres trabajos evaluados han presentado baja variabilidad en el contenido proteico (SD = 0,53).

DDG de triticale

Aunque la cantidad de almidón presente en los granos de triticale es menor que en los de trigo, su mayor contenido en azúcares libres puede compensar la baja concentración en almidón durante la fermentación, y permiten obtener rendimientos de etanol similares que con el grano de trigo. El contenido medio en FND, grasa, almidón y proteína es intermedio entre los valores del trigo y centeno, aunque ligeramente más cercano al trigo (*tabla 1*). Sin embargo, el contenido medio en proteína (30,6 %) obtenido de los cinco trabajos evaluados es muy cercano a los DDG de centeno (29,3 %) y bastante alejado del valor de los DDG del trigo (38,6 %). Además, el valor proteico medio presenta escasa variabilidad entre los trabajos evaluados (SD = 0,48). La concentración energética es similar a los DDG de trigo (2,1 Mcal/kg).

Conclusión

La información encontrada en la bibliografía sobre el valor nutricional de los DDG de los diferentes granos muestra que su variabilidad puede ser alta y los resultados de distintas publicaciones pueden ser de escasa fiabilidad. Debido a esto, es recomendable la formulación de dietas basadas en análisis químicos más que en valores tabulares. ●

Bibliografía disponible en www.albeitar.grupoasis.com/bibliografias/granosdestileria168.doc