

USO DE SUBPRODUCTOS DEL DESTILADO DE GRANOS EN BOVINOS PARA CARNE

Autores: Arroquy¹, J.; Berruhet², F.; Martinez Ferrer³, J.; Pasinato⁴, A. y Brunetti³, M.

Proyecto Específico: Alimentación de Bovinos para carne

Andrea Pasinato (EEA Concepción del Uruguay)

Integrador: Estrategias para Ganadería Vacuna

Francisco Santini (EEA Balcarce)

Programa Nacional De Producción Animal

Anibal Pordomingo (EEA Anguil)

CONTENIDO

- 1. Introducción**
- 2. Producción de bioetanol y sus subproductos**
- 3. Composición química y nutricional de subproductos**
- 4. Uso de subproductos y performance animal**
- 5. Uso de subproductos y calidad de carne**
- 6. Compuestos anti-nutricionales**
- 7. Almacenamiento**
- 8. Implicancias y conclusiones**

¹ Ing. Agr. (Ph.D.), INTA EEA Santiago del Estero, arroquy.jose@inta.gob.ar.

² Ing. Agr. INTA EEA Concepción del Uruguay

³ Ing. Agr. (M. Sc) INTA EEA Manfredi

⁴ Ing. Agr. (M. Sc) INTA EEA Concepción del Uruguay

1. Introducción

La producción de biocombustibles surge ante la necesidad de fuentes de energía que reemplacen, al menos en parte, a los combustibles fósiles. En tal sentido, la bioenergía es una opción promisoriosa (Heinimo y Jungner, 2009), cubriendo en el año 2005 un 12% de la energía demandada mundialmente (RFA, 2012a).

Los biocombustibles son una fuente renovable de energía y se originan de la biomasa, así denominada ya que proviene de material de origen orgánico luego de sufrir diferentes procesos biológicos. Estos han adquirido mayor importancia dadas sus implicancias ambientales (mediante la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)), económicas y sociales. En este sentido han permitido posicionar al sector agropecuario como proveedor de energía, generando empleo, inversión y valor agregado (SAGPyA, 2006).

Existen tres tipos de biocombustibles, los sólidos (madera y carbón vegetal), los gaseosos (biogás e hidrógeno) y los líquidos como el bioetanol y el biodiesel (GBEP, 2007). La bioenergía moderna está representada principalmente por estos últimos (FAO, 2008b) que se utilizan en el transporte, mezclados con los combustibles tradicionales en los motores convencionales, o bien solos en motores especializados (UNCSD, 2007).

De acuerdo a la materia prima utilizada en la producción, los biocombustibles líquidos se denominan, de primera o de segunda generación. En el primer caso, se utilizan para su elaboración, granos o semillas que por lo general requieren procesos simples para la obtención del combustible (Larson, 2008). Los principales productos dentro de esta categoría son el biodiesel y bioetanol, y representan el 15 y el 85% de la energía global producida a través de los biocombustibles respectivamente (FAO, 2008c).

Los biocombustibles de segunda generación utilizan como materia prima residuos lignocelulósicos no comestibles que están compuestos principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina (USDOE, 2006). Se usan los residuos de empresas forestales o de la producción de cultivos alimentarios como tallos de maíz o cáscara de arroz, como así también

sorgo, alfalfa o residuos de cosecha (Scott *et al.*, 2011 y Anandan *et al.*, 2012), plantas enteras de gramíneas y/o árboles plantados específicamente para producir biocombustibles.

En la presente revisión se describen las características nutricionales de los principales subproductos de la industria del destilado de granos para la producción de etanol, y su uso en la alimentación de bovinos para carne.

2. Producción de bioetanol y sus subproductos

El bioetanol es el biocombustible que más se produce a nivel mundial (85% del total de biocombustibles), alcanzando en el 2011 *c.a.* 53 billones de litros (RFA, 2012a) lo que representa el triple de la producción del año 2000. Estados Unidos (51%) y Brasil (37%) lideran la producción mundial, seguidos por la UE (4%) (Principalmente Francia y Alemania), China (4%), Canadá (2%), India (1%) y los países restantes con solo el 2% (FAO, 2008c).

El bioetanol tiene un menor valor energético (66%) que el petróleo, pero debido a su mayor nivel de octanaje, la mezcla de ambos puede mejorar el rendimiento energético del combustible, y a la vez disminuir las emisiones de CO₂ y óxidos de azufre al ambiente (FAO, 2008c).

El etanol se obtiene a través de la fermentación y destilación de materiales que contienen alto contenido de azúcares libres como caña de azúcar, sorgo dulce o remolacha azucarera, o a partir de una sacarificación previa de polisacáridos como el almidón contenido en el grano de distintos tipos de cereales (cebada, trigo, maíz o sorgo) o como la celulosa contenida en materias primas lignocelulósicas (Molina, 2006). En Brasil se utiliza principalmente caña de azúcar en tanto que el maíz predomina en EUA (FAO, 2008a). Si se usan cultivos azucareros, el proceso consiste en extraerles el azúcar, para luego fermentar la glucosa, sacarosa y/o fructosa y producir etanol. La fermentación es un proceso bioquímico que llevan a cabo cultivos de levaduras específicos u otros microorganismos, dejando como producto final etanol y CO₂. El

último paso es la destilación o purificación para lograr la concentración de etanol deseada. Si se remueve toda el agua se obtiene etanol anhidro.

El proceso con materiales ricos en almidón o celulosa es más complejo, dado que requiere en su instancia inicial una hidrólisis o sacarificación mediante la cual se desdoblan los polímeros a su monómero constituyente, la glucosa. Este proceso se puede realizar utilizando enzimas amilolíticas o bien mediante el uso de ácidos y bases (Balt *et al.*, 2008). La fermentación posterior es similar a la expuesta y generalmente se utilizan para tal fin cepas de *Saccharomyces cerevisiae*.

El maíz y otros cereales pueden ser procesados mediante dos tecnologías: molienda en seco o en húmedo (Rausche y Belyea, 2006), según se presenta en las Figuras 1 y 2.

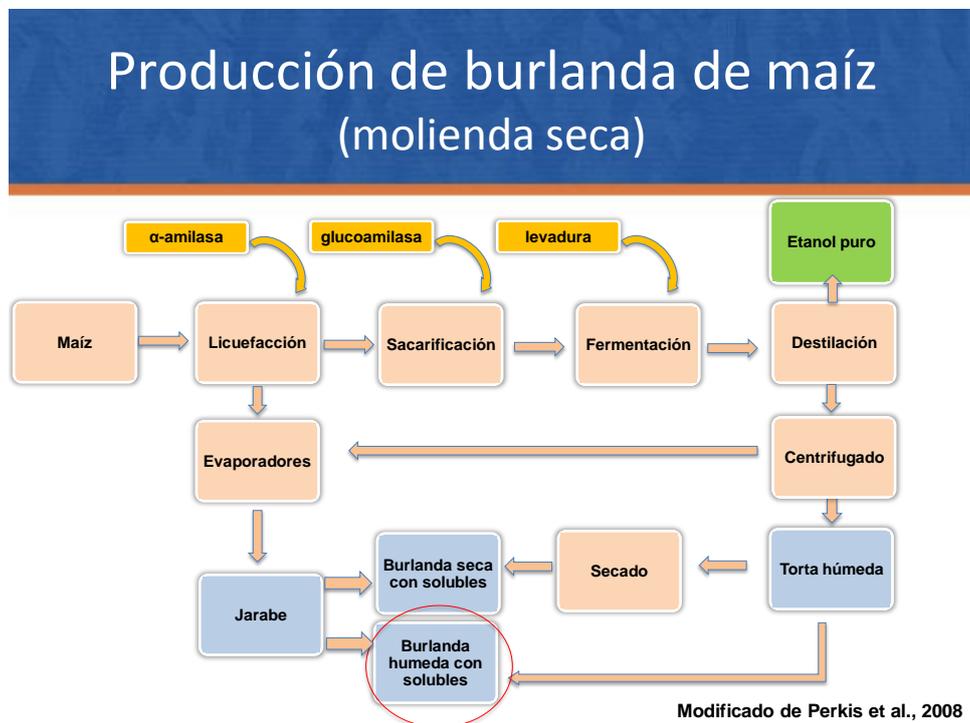


Figura 1. Proceso de molienda seca del maíz, productos y subproductos.

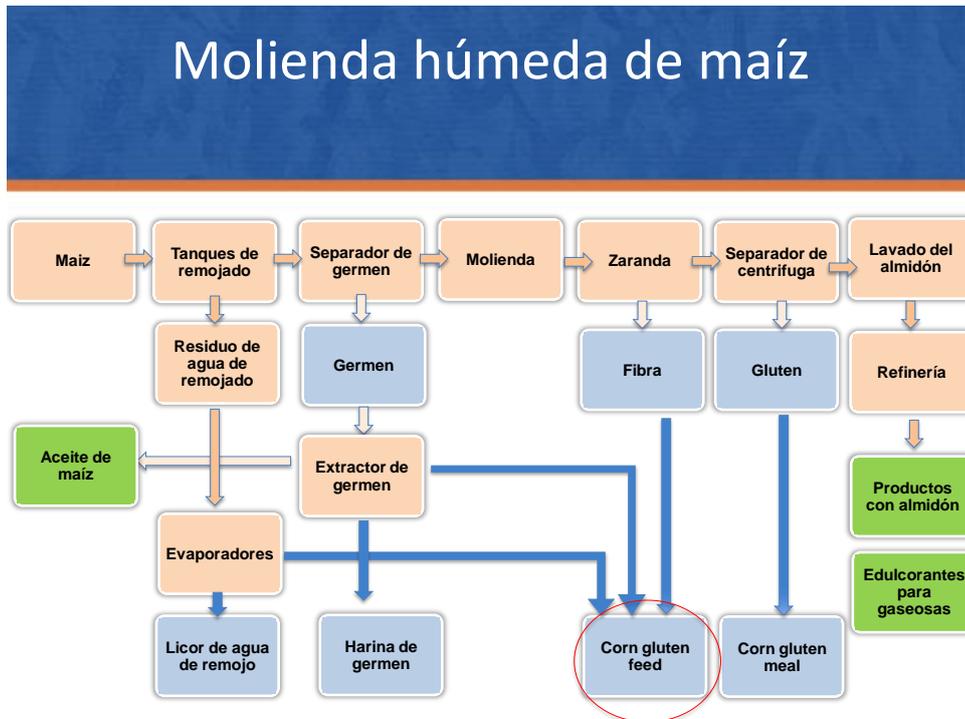


Figura 2. Proceso de molienda húmeda del maíz, productos y subproductos

Molienda seca

La molienda en seco se utiliza para obtener aceite, polenta, y harinas entre otros; y también es la tecnología de procesamiento más utilizada para obtener bioetanol. Esta molienda utiliza el grano entero por lo que el proceso demanda menos inversión inicial de capital que la molienda húmeda (Belyea *et al.*, 2010, Li *et al.*, 2012). La fermentación del grano genera dos subproductos básicos: una fracción compuesta por grano no fermentado (Granos destilados, GD), y una fracción líquida que contiene levaduras, partículas finas de grano y nutrientes en solución denominada “solubles”. También se genera anhídrido carbónico que se puede utilizar en bebidas y para congelar carnes.

Los subproductos de la molienda seca varían en denominación y calidad de acuerdo al proceso específico empleado y la materia prima utilizada. Estos subproductos pueden ser incorporados en la formulación de alimentos balanceados si están secos o bien directamente a las ración de los animales ya sea en su forma seca o húmeda.

De acuerdo al proceso específico empleado se pueden generar los siguientes subproductos de la molienda seca:

Granos destilados húmedos (GDH, o WDG-Wet Distillers Grains): producto con elevado contenido de agua compuesto por partículas de grano destilado no fermentado.

Granos destilados secos (GDS, o DDG-Dry Distillers Grains): están constituidos por el mismo residuo de los GDH sometido a un proceso de secado. El contenido de materia seca se encuentra en el rango de 85-90%.

Solubles de destilería condensados (SDC, o CDS-Condensed Distillers Solubles): constituido por la fracción líquida de la fermentación condensada, formando un jarabe de 25-45% de materia seca y alto contenido de fósforo (P- 1,57%) y azufre (S-0.92%) (Erickson *et al.*, 2007).

Granos destilados húmedos con solubles (GDHS, WDGS-Wet Distillers Grains plus Solubles): están compuestos por los GDH con el agregado de los solubles condensados, presentando 31-36% de materia seca. También se los denomina “Burlanda húmeda con solubles”.

Granos destilados secos con solubles (GDSS, DDGS-Dry Distillers Grains plus Solubles): Están constituidos por la mezcla de los GDS con los solubles condensados, y presenta entre el 85-90% de materia seca. También se los denomina “Burlanda seca con solubles”.

Otro producto que se comercializa en EUA es la “Burlanda modificada”, que se origina al secar parcialmente la burlanda húmeda hasta un contenido aproximado de 50% humedad (Di Lorenzo, 2013).

Molienda húmeda

En el caso de la molienda húmeda se separa el almidón del grano y posteriormente se lo fermenta. Se obtiene como principal producto el jarabe de maíz de alta fructosa, CO₂ y germen de maíz que se utiliza para obtener aceite. Se generan en el proceso dos subproductos principales, el “gluten feed” (GF) y el “gluten meal” (Gluten de maíz, GM). El primero es el residuo que queda luego de haber sido extraídos la mayor parte del almidón, del gluten y del germen, resultando un alimento alto en fibra y con 21-26% de proteína, no obstante su calidad

es variable y dependiente de variaciones en el proceso de obtención. En tanto que el GM se genera en etapas posteriores del proceso donde se separa el almidón del gluten, el cual es centrifugado, filtrado y secado dando origen al subproducto (Dimeagro, 2009). Éste posee alto contenido en proteína (*c.a.* 60%) y baja fibra pero su costo es elevado como para incluirlo en las dietas de bovinos (Di Lorenzo, 2013). También se puede utilizar el almidón así obtenido para su posterior fermentación y obtención de etanol, generándose también subproductos como la burlanda húmeda con solubles y seca con solubles, aunque es un proceso más costoso y demanda mayor inversión en capital (Rausch y Belyea, 2006).

En EUA en el año 2011 se generaron 39 millones de toneladas de alimento para el ganado a partir de estos subproductos, utilizando el 3,2% del total de granos producidos en el mundo. Un tercio del maíz utilizado en la producción de bioetanol, regresa como alimento para el ganado (RFA, 2012a). En 2011 se destinó un 48% a la alimentación de bovinos de carne, un 32% a rodeos lecheros, un 11% a cerdos y un 8% a aves de corral (RFA, 2012b).

3. Composición química y nutricional de subproductos

La valoración nutricional de cualquier alimento se basa en dos factores principales, la composición nutricional y su variabilidad. En los subproductos la concentración de nutrientes presentes en la materia prima (granos) que no se consumen durante la producción de etanol (ej., materia grasa total o extracto etéreo, proteína bruta, fibra, minerales) se triplican (Klopfenstein *et al.*, 2008). La composición química y el perfil nutricional de los subproductos del destilado de granos es variable, tal como sucede con la mayoría de los subproductos agroindustriales (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición química de subproductos de la molienda seca del maíz

Componente (%)	Burlanda seca con solubles	Solubles condensados	Burlanda húmeda con solubles	Burlanda modificada
MS	90	25-45	31-36	46-51
PB	28-34	14-23	32-36	26-32
Lípidos	11	15-24	9-12	11-16
FDN	45	-	30-50	35-50
FDA	12	-	10-12	11-18
TND	87	95-120	90-110	90-110

Adaptado de Di Lorenzo, 2013

A continuación se presentan valores de burlanda producida en el país en una plata cordobesa.

Cuadro 2. Composición química de subproductos del maíz: Valores nacionales.

Subprod.	MS (%)	FDN (%)	FDA (%)	LDA (%)	Cenizas (%)	pH	P.B. (%)	EE (%)	NIDN (%)	NIDA (%/Nt)
Burlanda húmeda	31,61	35,78	8,92	0,27	4,98	3,97	23,63	-	-	1,46
Burlanda seca ¹	92,12	48,67	14,12	2,50	2,29	3,87	31,94	-	-	5,89
Burlanda seca ²	91,92	-	-	-	-	-	29,44	9,02	24,69	14,62
Burlanda nueva	28,58	31,30	9,77	-	-	-	27,07	-	-	-
Burlanda vieja	33,50	39,76	12,86	-	-	-	26,79	-	-	-

1. Brunetti, MA. 2013. Comunicación personal
2. Arroquy, J. 2013. Comunicación personal

La composición nutricional de estos productos está influenciada por varios factores entre los que se destacan: el tipo de grano y su calidad, el proceso de molienda, la extensión de la fermentación, las condiciones de secado, la extracción o no de aceite, y la cantidad de solubles generados en la fermentación que son incorporados al subproducto (Balyea *et al.*, 2010; Sharma *et al.*, 2007; Singh y Graeber, 2005). Respecto a esto último, en la Figura 3 puede verse

que a medida que aumenta el nivel de incorporación de solubles condensados en el subproducto de la molienda seca disminuye la concentración de fibra en detergente neutro (FDN) y proteína bruta (PB), mientras que aumenta el contenido de extracto etéreo y energía (Corrigan *et al.*, 2007).

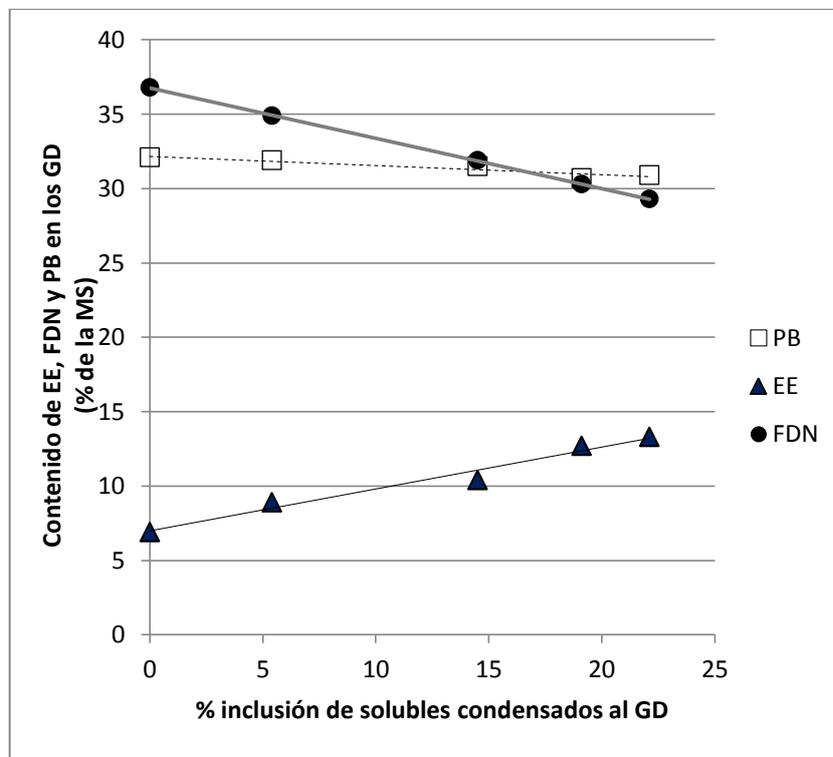


Figura 3. Cambios en la composición nutricional de los GD según el nivel de agregado de solubles condensados (Adaptado de Corrigan *et al.*, 2007).

Balyea *et al.* (2010) evaluaron 9 plantas productoras de etanol en EUA, y observaron que la mayor fuente de variación en la calidad se registraba entre lotes o partidas de granos dentro de una misma planta, debido a variaciones en las características composicionales y/o fisiológicas del grano de maíz y/o a las condiciones de procesamiento que afectan la fermentación del grano. La eficiencia de fermentación depende de las características del híbrido (Balyea *et al.*; 2010). A mayor cantidad de amilosa, es menor la eficiencia y por ende menor el rendimiento en etanol (Sharma *et al.*, 2007). Al respecto Singh y Graeber (2005), encontraron un 23% de variación entre la producción de etanol a partir de diferentes híbridos

de maíz. Por otra parte, el tamaño de partícula del grano durante la fermentación es determinante de la calidad de la misma, por lo que todos aquellos factores que afectan la granulometría repercuten en la calidad del subproducto obtenido.

No obstante la mayor fuente de variación se da en el proceso utilizado, sea este en seco o húmedo, y los efectos interactivos dificultan la identificación y control de las fuentes de variación en el proceso y en consecuencia en la calidad de los GD resultantes.

El contenido de nutrientes varía entre estudios realizados y dentro de los mismos estudios (Liu, 2011) y sus diferencias no sólo son debidas a diferencias de procesado entre plantas, sino también dentro de cada planta y de cada lote, por lo que se recomienda que se realicen análisis periódicos.

Por lo general los nutrientes están más concentrados en los GD provenientes del proceso de molienda seca respecto a la húmeda debido a la mayor eficiencia de fermentación de la primera (Belyea *et al.*, 2010) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Composición química de subproductos de la molienda seca y húmeda (Adaptado de Di Lorenzo, 2013; Blasi *et al.*, 2001; NRC Dairy, 2001; NRC Beef, 2000)

Componente (%)	Grano Maíz	Molienda seca				Molienda húmeda		
		GDSS	SC	GDHS	GDSM	GF-húmedo	GF- seco	GM
Energía bruta (kcal/kg)	3891	4776	-	-	-	-	4334	5229
MS	86-88	90	25-45	31-36	46-51	32-44	90-92	-
PB	8,5-10,5	28-34	14-23	32-36	26-32	14-26	21-22	62.9
EE	4,2	11	15-24	9-12	11-16	3-5	2-3,3	1.2
FDN	10,8	45	-	30-50	35-50	-	-	12.9
FDA	3,3	12	-	10-12	11-18	-	-	7
TND	90	87	95-120	90-110	90-110	90	78	-
Almidón	-	7.3	-	-	-	-	21.5	8.3

GDSS= granos destilados secos con solubles, SC= solubles condensados, GDHS= granos destilados húmedos con solubles, GDSM= granos destilados secos con solubles modificados, GF= gluten feed. TND = Total de nutrientes digestibles

Contenido de humedad.

El elevado contenido de agua (o elevada humedad) de los GD genera limitaciones en su uso, ya que dificulta el almacenamiento prolongado, aumenta los costos de transporte y manipulación, e incorporado en dietas con elevado contenido de humedad (ej., silaje) puede limitar el consumo. Sin embargo, estudios realizados en Nebraska (EUA) estimaron un consumo similar entre húmedo y seco (Kononoff y Janicek, 2005). Los GD húmedos no duran frescos y palatables por períodos prolongados de tiempo. El tiempo de almacenaje varía con la temperatura ambiente, 5-7 días en verano y 12-14 días en invierno (Di Lorenzo, 2013). Por el contrario, si se secan a 90% de MS pueden ser almacenados por mucho más tiempo. Aunque se debe considerar que el secado puede producir alteraciones de la calidad nutricional del subproducto debido a la ocurrencia de reacciones de Maillard (Combinación de azúcares, aminoácidos, carbohidratos complejos y amidas por el sobrecalentamiento de alimentos con contenidos medio a altos de proteínas). Este fenómeno químico repercute en la coloración del subproducto obtenido, y en la digestibilidad de la PB y FDN (Robinson *et al.*, 2008). Un indicador indirecto y subjetivo de calidad, que permite evaluar el daño por calor durante el secado de la burlanda es el color. El color varía de amarillo dorado a marrón oscuro, diferencias atribuidas al color inicial del grano, la cantidad de solubles añadidos, al tiempo y temperatura de secado utilizados (Barragán Ramírez *et al.*, 2008). El color amarillo dorado está asociado a más alta digestibilidad y palatabilidad, mientras que un color marrón indicaría una menor digestibilidad y mayor contenido de NIDA (Nitrógeno insoluble en detergente ácido) (Donkin *et al.*, 2006). La temperatura de secado puede variar de 127 a 621°C, en función de la planta de producción, la cual puede reducir la digestibilidad de la proteína y de los aminoácidos, especialmente lisina.

El método de coloración se utiliza comercialmente, y permite caracterizar la calidad del proceso de secado rápidamente. En el mercado interno de Estados Unidos o en el comercio

internacional se utilizan escalas de color (Figura 4) para calificar el grado de daño por calentamiento de los productos secados.

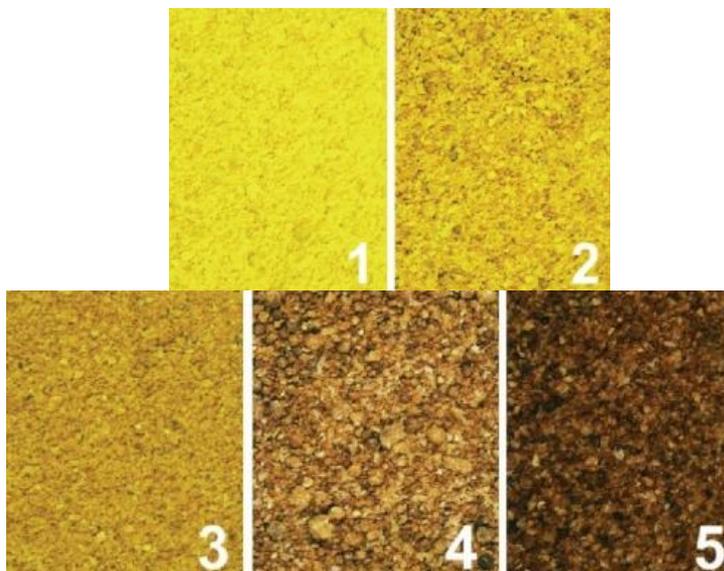


Figura 4. Escala fotográfica de colores para calificar daño por calor en los GDSS (Adaptado de US Grain Council, 2012)

La escala varía de 1 a 5. A medida que aumenta el oscurecimiento, mayor es el contenido de N ligado a la FDA (NIDA) y el daño del secado sobre el material. En siguiente sección se discutirá la importancia nutricional del daño por temperatura.

Proteína y aminoácidos

La proteína de los alimentos puede ser utilizada en el rumen por los microorganismos (proteína degradable en rumen, PDR) o puede pasar al intestino sin degradarse (proteína no degradable en rumen, PNDR), donde es digerida y absorbida o desechada en heces.

El contenido de proteína depende de varios factores, tipo de molienda (Húmeda vs. Seca), tipo de grano, subproducto, y método de procesamiento. De la molienda húmeda, el GF generalmente tiene menor contenido de PB y mayor de PDR comparado con los subproductos de la molienda seca (solubles condensados; Cuadro 1). El gluten de maíz (GM), obtenido en la

molienda húmeda, es el subproducto de mayor contenido proteico (*c.a.*, 60-66%) y de PNDR (60%).

Los productos de la destilería de granos tienen un contenido proteico que varía entre 14 y 40,7% de PB dependiendo del tipo de grano, subproducto, y el método de procesamiento de cada planta (Cuadro 2). A diferencia de lo que ocurre con otros nutrientes, la variabilidad entre plantas en el contenido de proteína bruta – dentro de cada tipo de subproducto – no es elevada. Los coeficientes de variación van de 0,92% (Buckner *et al.*, 2011) a 7,7% (Shurson *et al.*, 2001).

Cromwell *et al.* (1993) informaron no solo diferencias en el contenido de MS, cenizas, FDN, FDA y PB, sino también en el contenido y proporción de aminoácidos, debido a que el aporte proteico no está dado solamente por el contenido de nitrógeno que posee la materia prima, sino además por el aporte de las levaduras que fueron incorporadas para la fermentación. Belyea *et al.* (2004) sugirieron que el aporte de proteína por parte de las levaduras fue un 50%.

Los rumiantes requieren en primer término PDR para optimizar los procesos digestivos ruminales. Por lo tanto, limitaciones en la disponibilidad ruminal de proteína influyen sobre la digestibilidad de la dieta y la producción de proteína microbiana. Una vez cubiertas las necesidades de PDR, con el fin de incrementar la producción y mejorar la eficiencia es necesario aumentar la disponibilidad de proteína metabolizable en intestino. En este sentido incrementos en el nivel y la proporción de PNDR impacta positivamente sobre la productividad animal, y en particular cuando se desean alcanzar niveles elevados de producción (NRC, 1996; Gutierrez-Ornela y Klofeinstein, 1991). En el pasado el uso de harinas de origen animal en la formulación de raciones permitía elevar el estatus de PNDR con respecto a las harinas proteicas de origen vegetal, las cuales son comúnmente bajas en PNDR. Sin embargo a partir de brotes de encefalopatía espongiiforme bovina (BSE) se ha limitado el uso de subproductos de origen animal. En la actualidad los GD surgen como una alternativa de reemplazo de las

harinas de origen animal para elevar el contenido de PNDR en dietas para bovinos. En el Cuadro 4 se presentan los valores de proteína y PNDR de diferentes alimentos.

Cuadro 4. Contenido proteico, degradabilidad ruminal y digestión intestinal y total de la proteína en distintos subproductos de la molienda del maíz. Di Lorenzo 2013 (adaptado de Kelzer *et al.*, 2007)

Ingrediente	%PB	PNDR (% PB)	Digest. intest. (%PB)	PB dig. en tracto total (%PB)
Afrecho de maíz	13,5	20,7	65,8	93,1
Germen de maíz	16,3	16,5	66,8	94,5
Gluten feed húmedo	26,7	11,5	51,1	94,4
Gluten feed seco	26,7	11,5	51,1	94,4
Gluten meal	66,3	59,0	-	-
Burlanda seca (GDSS)	28,9	56,3	91,9	95,4
Burlanda húmeda (GDHS)	29,9	44,7	93,1	96,9
Harina de soja	49,9	24,3	93,0	-
Harina de sangre	95,5	70,9	80,0	-

Si bien generalmente se asume que los subproductos derivados de la molienda seca de la producción de etanol contienen elevado contenido de PNDR y bajo de PDR, la bibliografía muestra un amplio rango de variación en el contenido de PDR y/o PNDR. Por ejemplo, la proporción de PDR varía de 38% a 71% de la proteína bruta con valores de PNDR que oscilaban desde 15 y 52% de la PB (Kleinschmit *et al.*, 2007; Nuez-Ortín y Yu, 2009; Mjoun *et al.*, 2010 ; MacDonald *et al.* , 2007 y Belyea *et al.* 2010). Otros autores estimaron contenidos de PNDR superiores a 57% de la PB (Brouk *et al.*, 1994; Erickson *et al.*, 2005).

El incremento en PNDR está fundamentado en dos factores principales que alteran la degradabilidad de la proteína durante la manufactura de subproductos. En GD húmedos y secos las fracciones proteicas más digestibles se consumen durante la fermentación para producción de etanol, además a los GD secos se le suma la formación de compuestos de Maillard durante el secado. Sin embargo, Kononoff y Janicek (2005) y Erickson *et al.* (2005) sugieren que el contenido de PNDR es similar o ligeramente superior en los residuos húmedos

que en los secos. Erickson *et al.* (2005) estimaron valores generales de PNDR que variaban entre 60 y 70% de la PB. Cavalho *et al.* (2005) en estudios con granos secos de destilería, sugieren que si bien representan una buena fuente de PNDR, en ciertos casos puede ser baja su digestibilidad intestinal.

En este sentido el N insoluble en detergente ácido (NIDA) es un indicador objetivo que permite cuantificar en laboratorio el nivel de daño que sufre la proteína contenida en GD secados. Al respecto se reportaron valores de NIDA que van de 13,3 hasta 56 % de PB para los granos de destilería originados del trigo y valores de entre 9,1 y 34,4 % PB para los provenientes de la destilación del maíz (Nuez-Ortín y Yu, 2009; Mjoun *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2012). El amplio rango de variación en el contenido de PDR y PNDR se origina en los diferentes procesos llevados a cabo en cada una de las plantas de destilación, en especial en el proceso de molienda y secado (Spiehs *et al.*, 2002; Belyea *et al.*, 2004; Li *et al.*, 2012).

Los granos de destilería provenientes del maíz poseen en general menos proteína que los de sorgo (Urriola *et al.*, 2009) y trigo (Philippeau y Michalet-Doreau, 1999; Mustafa, *et al.*, 2000; Schingoethe, 2006). Los GD de trigo poseen hasta 41% de PB (Stein y Shurson, 2009). En general los GD de maíz tienen mayor proporción de PNDR que los provenientes de trigo. No obstante, algunos autores han reportado valores de NIDA superiores a los observados en maíz, que van desde 13,3 a 56% (Nuez-Ortín y Yu, 2009; Mjoun *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2012).

Por otra parte, si bien los microorganismos ruminales sintetizan proteína microbiana con un perfil de aminoácidos apropiado para mantener niveles moderados de producción (Santos y Santos, 1998), en los sistemas intensivos de producción la baja disponibilidad y digestibilidad de los aminoácidos dietarios puede limitar la productividad en bovinos para carne.

De modo similar a lo que sucede con otros nutrientes, la concentración de aminoácidos en los granos de destilería se incrementa con respecto al grano original. Los GD de sorgo tienen menor contenido de lisina y arginina, similar de metionina y superior de triptofano (aprox.

40%) que los GD de maíz (Stein y Shurson, 2009). Por su parte, los GD de trigo presentan valores similares de lisina y metionina que los de maíz y sorgo (Stein y Shurson, 2009).

El proceso de destilado y secado de los diferentes granos puede alterar la biodisponibilidad de los aminoácidos comparado con el grano en su estado original. Stein y Shurson (2009) observaron que la digestibilidad de aminoácidos variaba significativamente entre granos y dentro de un mismo tipo de grano. Estos autores observaron que la digestibilidad de la lisina era la más variable entre distintos productos de destilados de grano debido a que este aminoácido es el más sensible al daño por calor (Cromwell *et al.*, 1993; Stein *et al.*, 2006). En general, los otros aminoácidos presentes en estos subproductos tienen un 10% menos de digestibilidad comparado con el grano original. La variabilidad en la digestibilidad de aminoácidos, con la excepción de la lisina, tiene un rango similar a otros ingredientes. En general la digestibilidad de los aminoácidos en destilados de granos de sorgo y trigo es similar a lo observado en GD de maíz (Urriola *et al.*, 2009; Widyaratne y Zijlstra, 2007; Lan *et al.*, 2008).

En el Cuadro 5 se presentan los valores promedios de los aminoácidos en los subproductos de maíz, en tanto que en el Cuadro 6 se presentan valores de digestibilidad para la lisina, metionina y treonina.

Cuadro 5. Composición de aminoácidos del maíz y sus subproductos (% base fresca. Adaptado de Stein, 2011).

Aminoácidos (%)	Maíz	GDSS	GDS	GM	GF
Arginina	0,39	1,16	1,15	0,95	0,95
Histidina	0,23	0,72	0,68	0,61	0,61
Isoleucina	0,28	1,01	1,08	0,79	0,79
Leucina	0,95	3,17	3,69	1,86	1,86
Lisina	0,24	0,78	0,81	1,02	1,02
Metionina	0,21	0,55	0,56	0,32	0,32
Fenilalanina	0,38	1,34	1,52	0,87	0,87
Treonina	0,26	1,06	1,10	1,21	1,21
Triptófano	0,09	0,21	0,22	0,16	0,16
Valina	0,38	1,35	1,39	1,12	1,12
Alanina	0,58	1,94	2,16	1,48	1,48
Ácido aspártico	0,55	1,83	1,86	1,44	1,44
Cisteína	0,16	0,53	0,54	0,43	0,43

Ácido glutámico	1,48	4,37	5,06	2,7	2,7
Glicina	0,31	1,02	1,00	1,03	1,03
Prolina	0,70	2,09	2,50	1,61	1,61
Serina	0,38	2,18	1,45	0,73	0,73
Tirosina	0,27	1,01	-	0,64	0,64

GDSS: granos destilados secos con solubles, GDS: granos destilados secos, GM: gluten meal, GF: gluten feed.

Cuadro 6. Valores de concentración y digestibilidad de los aminoácidos digestibles de los subproductos de destilería del maíz (Adaptado de Stein, 2007).

Aminoácidos	Total (%)	Digestibilidad	% Digestible
Lisina	0.72-0.93 $\bar{x} = 0.83$	53.20-68.62 $\bar{x} = 63.50$	0.43-0.63 $\bar{x} = 0.52$
Metionina	0.49-0.55 $\bar{x} = 0.51$	84.12-88.30 $\bar{x} = 85.89$	0.42-0.46 $\bar{x} = 0.44$
Treonina	0.95-1.05 $\bar{x} = 0.98$	68.83-77.46 $\bar{x} = 73.65$	0.66-0.77 $\bar{x} = 0.72$

Carbohidratos

En la molienda seca el 97-99% de los carbohidratos no estructurales (i.e., almidón) son consumidos durante la fermentación de los granos, mientras que en los subproductos de molienda húmeda el almidón remanente es sustancialmente mayor (c.a. 18 a 26%; Blasi *et al.*, 2001). Por su parte, los carbohidratos estructurales no son fermentados, incrementándose significativamente su contenido en comparación con el material original. La FDN remanente del proceso de destilación de alcohol es altamente digestible lo cual permite su uso en dietas ricas en almidón o forrajes (Schingoethe, 2007). Kaiser (2006) sugiere que el proceso de fermentación para la producción de etanol mejora la digestibilidad de la fibra. No obstante se debe considerar que esta fibra no es considerada fibra efectiva ya que no estimula la salivación ni la rumia (Di Lorenzo y Galyean, 2010).

El reemplazo de almidón por fibra digestible podría reducir los problemas de acidosis que comúnmente se dan con dietas ricas en granos (Klopfenstein *et al.*, 2011).

Los GD de maíz en promedio poseen entre 32 y 49% de FDN (Spiehs *et al.*, 2002; Al-Swaiegh *et al.*, 2002; Anderson *et al.*, 2006), y puede llegar a valores de 72% (Ojowi *et al.*, 1997;

Mustafa *et al.*, 2000), y 11-18% de FDA (Spiehs *et al.*, 2002; Kleinschmidt *et al.*, 2007). Los contenidos de FDN y FDA de los destilados de sorgo, cebada, y trigo son similares a los informados para maíz.

La variabilidad en el contenido de FDN y FDA es significativamente mayor a la de otros nutrientes. Shurson *et al.* (2001) observaron coeficientes de variación de 5 hasta 54% en el contenido de FDA en GD de maíz dentro de cada planta de destilado. Sin embargo, más recientemente Belyea *et al.* (2010) informaron una menor variación en el contenido de FDA entre partidas dentro de cada planta (CV%: 2,8 a 5,9%).

Materia Grasa total o extracto etéreo

En general el contenido de materias grasas es tres a cinco veces mayor en los subproductos de la molienda seca que en los subproductos de la molienda húmeda (Cuadro 1). Si bien el elevado contenido de lípidos en los GD aumenta la concentración de energía de estos productos, debe considerarse que en rumiantes niveles elevados de lípidos afectan negativamente el consumo voluntario y la digestibilidad de la fibra (Hess *et al.*, 2008). Esta característica restringe el nivel de inclusión dietario de estos subproductos en rumiantes. El contenido de extracto etéreo en los GD varía entre 7 a 14% (Spiehs *et al.*, 2002; MacDonald *et al.*, 2007; Walter *et al.*, 2010). En este aspecto existe variabilidad dentro de plantas y entre plantas que van desde el 1,8 y el 19,1% (Shurson *et al.*, 2001; Belyea *et al.*, 2010; Buckner *et al.*, 2011). En el caso de los GD secos, otro aspecto a considerar es que el secado puede alterar el perfil lipídico por oxidación durante el proceso. Se debe considerar que en algunos casos se realiza una extracción de aceite sobre el subproducto dejando un contenido mínimo de lípidos.

Energía

El contenido de energía de los subproductos depende del tipo de molienda. En los subproductos de la molienda húmeda (ej.GF) el contenido energía es similar o inferior al de los

granos (NRC, 1996), mientras que los GD con o sin solubles de la molienda seca tienen un contenido de energía generalmente superior al de los granos. Resultados experimentales han demostrado que pueden incluirse reemplazando granos en raciones de terminación, y actuando como fuente primaria de energía. Ham *et al.* (1994) en un experimento de terminación observaron que los GD con solubles proveían 21% más de energía neta (ENG) que el maíz partido. Stock *et al.* (1999) concluyeron en su revisión que los GD tienen en promedio 9% más de energía que el grano, con valores que pueden superar hasta el 24% en maíz.

Minerales

El contenido de cenizas oscila entre 4,8 y 9% (Blasi *et al.*, 2011; Spiels *et al.*, 2002) para subproductos de la molienda húmeda y seca respectivamente. Los GD tienen elevado contenido de fósforo y azufre. Ambos minerales usualmente provienen de los solubles. Un valor muy elevado de P es indicador de que se le agregó una proporción alta de solubles. En comparación con el grano de maíz, el contenido de fósforo es tres veces superior en los GD. Los niveles elevados de ciertos minerales deben ser considerados para su utilización, a los fines de minimizar su excreción para reducir los riesgos de contaminación con los mismos. Durante el proceso se utilizan diferentes compuestos que pueden modificar la composición mineral del subproducto. Por ejemplo, el hidróxido de sodio se utiliza para la limpieza de los equipos (Liu, 2011). Además, el contenido de azufre puede verse elevado cuando se utiliza ácido sulfúrico para controlar el pH de la fermentación, también se incrementa con el aumento de la inclusión de solubles en el subproducto. Un elevado porcentaje de azufre en los subproductos incrementa la incidencia de casos de polioencefalomalacia (Uwituzé *et al.*, 2011) y disminuye la ganancia diaria de peso (Drewnoski y Hansen, 2013). En los GD el contenido de azufre puede llegar a duplicar o quintuplicar a los niveles de requerimientos de azufre de bovinos para carne.

El contenido de fósforo de los granos destilados de la molienda seca oscila entre 0,89 y 1,02% (NRC, 2001; Spiehs *et al.*, 2002), y los provenientes de la molienda húmeda presentan contenidos ligeramente inferiores (c.a. 0,16 a 1%). El proceso de fermentación de los granos para producir alcohol no solo aumenta la concentración sino también la disponibilidad del P (Spiehs *et al.*, 2002; Crowell *et al.*, 1972). El contenido de calcio en el grano es generalmente bajo (0.01%, Stein, 2011), y en los GD aumenta entre 50 y 100% su concentración. Los GDSS presentan una concentración de 0.03% de calcio, en tanto que el GM y GF poseen 0.05 y 0.22% respectivamente (Stein, 2011). Sin embargo el contenido sigue siendo bajo para los requerimientos de determinadas categorías vacunas, sobre todo al considerarlo en conjunto con el fósforo. De modo similar a lo que sucede con otros nutrientes, la concentración de minerales varía entre años, cultivos, región, y de acuerdo al ajuste de la fermentación que tienen las distintas plantas de procesamiento (Spiehs *et al.*, 2002). Dichas concentraciones algunas veces pueden conducir desordenes metabólicos y/o pueden llegar a contener mayores niveles en las heces, provocando así contaminaciones en el suelo.

4. Uso de subproductos y respuesta animal

En la Argentina, los subproductos de la molienda húmeda se utilizan en raciones de bovinos para carne desde hace varios años. Sin embargo el uso de los subproductos de la molienda seca es incipiente, y aunque ha tenido un vertiginoso crecimiento en los últimos años, en la actualidad su utilización está circunscripta a áreas cercanas a las plantas de producción. En los países donde se utilizan desde hace más de una década, los granos de destilería se incluyen comúnmente en las dietas como una fuente de energía y proteína, reemplazando en parte al concentrado (Schingoethe *et al.*, 1999; Liu *et al.*, 2000; Anderson *et al.*, 2006) y como suplemento de dietas a base de forraje voluminoso. Por su elevado contenido de fibra pueden suplantar también, al menos en parte, al forraje voluminoso en dietas concentradas, aunque se reitera que debe considerarse su bajo aporte de fibra efectiva. El uso de GD húmedo

mejora la condición de la ración al favorecer el mezclado en dietas secas (ej. base de grano y heno), disminuyendo el polvo y la selección. En dietas húmedas (ej. silajes) la utilización de GD puede ser limitado debido al elevado contenido de humedad, que en algunos casos puede llegar a limitar el consumo (Di Lorenzo, 2013).

En la Argentina la información relacionada con el uso de GD en ganado bovino para carne es escasa, y las recomendaciones actuales de uso se basan en información generada en el extranjero. En este sentido, si bien la tecnología de las plantas de producción de etanol nacionales es similar a la utilizada en otras partes del mundo, se ha descrito en otros países que existe variabilidad en el proceso de producción entre plantas, así como en la materia prima utilizada (diferencias entre híbridos, efecto del ambiente, etc.; Shurson *et al.*, 2001; Belyea *et al.*, 2010); lo cual generaría subproductos con cierto grado de variación asociado a las características locales de producción. Aunque la información externa es de utilidad local, es necesario trabajar en la caracterización nutricional de los GD producidos regionalmente, y avanzar en la evaluación de la respuesta animal al incluir estos subproductos en dietas de sistemas de alimentación nacionales.

Subproductos de destilados de grano en la alimentación a pastoreo

En condiciones de pastoreo o en dietas a base de forraje voluminoso los subproductos de granos destilados son excelente fuente de proteína, energía, y minerales para suplementar categorías de cría, recria (terneros/as, y novillitos) y engorde (vaquillonas y novillos).

Forrajes de mediana y baja calidad

En los forrajes de baja calidad, típicamente rastrojos y pasturas diferidas al invierno, la proteína, y en particular aquella fracción degradable en rumen (PDR), es el primer limitante nutricional. Una vez corregida dicha deficiencia, si el objetivo es alcanzar niveles de ganancia de peso superiores, la disponibilidad de energía y proteína metabolizable (PM) comienzan a limitar la productividad animal. El aporte de energía se realiza comúnmente mediante la suplementación con concentrados energéticos (ej., granos ricos en almidón), y el aumento de

la PM mediante el suministro de suplementos con elevado contenido de proteína no degradable en rumen (PNDR).

Los granos de destilería tanto de la molienda seca (granos destilados con o sin solubles) como de la húmeda (gluten feed, gluten meal) tienen una concentración proteica elevada, y un contenido energético, dependiendo del subproducto, ligeramente inferior o superior a los granos. Por su bajo contenido de almidón se puede utilizar en niveles relativamente altos sin afectar negativamente la utilización del forraje base.

El GF por su contenido de PB (c.a. 26%), y en particular de PDR (c.a. 75% PDR) y de fibra de alta digestibilidad es un suplemento energético proteico apropiado para forrajes de baja y mediana calidad (DeHann *et al.*, 1983; Firkins *et al.*, 1985; Loy *et al.*, 1987). A diferencia de la suplementación energética con granos, el uso de GF al no tener almidón tiene la ventaja de no ejercer efecto depresor sobre la digestibilidad de la fibra y el consumo de forraje. El almidón del grano favorece la flora ruminal amilolítica en detrimento de los microorganismos fibrolíticos, generando una deficiencia secundaria de proteína degradable en rumen que puede limitar la digestión de la fibra. La suplementación proteica con GF a vacas de cría con ternero al pie sobre pasturas de baja calidad (Fleck y Lusby, 1986) o rastrojo de maíz (Willms *et al.*, 1992) fue igual o más efectiva que suplementos a base de soja.

En terneros de recría, Oliveros *et al.* (1987) observaron que la suplementación de forraje de baja calidad con GF (40% reemplazo de forraje) prácticamente duplicó la tasa de aumento de peso y mejoró la conversión. Por otra parte, la mayor eficiencia de conversión la presentaron los animales que consumieron GF húmedo, seguidos por GF seco y finalmente los alimentados con maíz.

Los granos destilados provenientes de la molienda seca presentan características similares al GF, aunque con un contenido proteico y lipídico mayor. El mayor contenido de grasa en los GD y la variabilidad en el contenido de proteína degradable en rumen (PDR: 36 - 70% de la PB) ejercerían un efecto diferencial cuando se los compara con los productos de la molienda

húmeda. Por ejemplo, en un estudio realizado por Laeflet (1998) se estimó menor consumo total en dietas a base de forraje de baja calidad en los tratamientos suplementados con GD con respecto a los suplementados con GF.

Loy *et al.* (2008) informaron un mayor aumento medio diario (AMD) y mejor conversión en vaquillonas al suplementar heno de gramíneas (8,7% PB) con GDSS que cuando se utilizó maíz partido (+4,7% urea) (Cuadro 7).

Cuadro 7. Consumo, ganancia diaria de peso y eficiencia alimenticia en vaquillonas suplementadas con grano de maíz partido vs. granos destilados con solubles secos (GDSS; Loy *et al.*, 2008).

Ítem	Nivel de suplementación, % del PV			
	BAJO (0.21%)		ALTO (0.81%)	
	Maíz con urea	GDSS	Maíz con urea	GDSS
Consumo, % PV				
Forraje	1.93	1.76	1.55	1.46
Total	2.03	2.05	2.43	2.35
Ganancia de peso, g/d ¹	360b	490a	710b	890a
Conversión, kg alimento/ganancia de peso ¹	16.1b	12.0a	10.0b	7.8 ^a

¹ Medias seguidas por letras distintas entre Maíz con urea vs. GDSS dentro de cada nivel de suplementación difieren entre sí (P<0,01)

Jenkins *et al.* (2009) al suplementar novillitos consumiendo un pastizal natural de baja calidad (8,8% PB, 67,4% FDN y Digestibilidad *in vivo* MS: 48.9%) con cuatro niveles de GDSS (31.6% PB, 32,8% FDN y 11% EE) observaron un incremento lineal en el aumento medio diario (AMD) en respuesta a la suplementación con GDSS hasta 0,75% del peso vivo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Aumento medio diario de peso vivo (AMD) y conversión del suplemento en novillitos pastoreando forraje de baja calidad suplementados con granos de destilería (Adaptado de Jenkins *et al.*, 2009)

Parámetros	Nivel de suplementación con GDSS, % PV				EEM	Prob.
	0	0.25	0.50	0.75		
AMD, g/d	266	484	643	784	38	Lineal, P<0.01
g AMD/ kg MS suplemento (GDSS)	-	427	369	338	-	-

En un estudio similar con forraje de baja calidad, pero con niveles superiores de suplementación con GDSS (0, 0,3, 0,6 y 1.2% PV), Gadberry *et al.* (2010) observaron que el AMD de un período de suplementación de 82 días se incrementó, respecto al control, en 400 y 540 g con la suplementación al 0,3 y 0,6% del PV respecto al control sin suplementación. En tanto que el nivel más elevado de suplementación de GDSS mejoró el AMD en 832 g (50 vs 882 g; Cuadro 9).

Cuadro 9. Aumento medio diario de peso vivo (AMD) y conversión del suplemento en novillitos pastoreando forraje de baja calidad durante el invierno (Adaptado de Gadberry *et al.*, 2010)

Parámetros	Nivel de suplementación con GDSS, % PV				EEM	Prob.
	0	0.3	0.6	1.2		
AMD, g/d	50	450	590	882	20	Cúbica, P=0.01
g AMD/ kg MS suplemento (GDSS)	-	670	440	320	30	Cuadrática, P=0.03

Como era de esperar, la eficiencia de uso de los GDSS como suplemento (g de aumento de peso/kg de suplemento suministrado) es inversamente proporcional al nivel de inclusión. En términos generales, en los niveles menores de suplementación por cada gramo de suplemento se obtuvo una respuesta en AMD de 170 a 220 g. Mientras que en los niveles intermedios (0,5-0,6%), la respuesta fue de 73 a 74 g de AMD por gramo de suplementación con GD. En los niveles superiores (i.e., 0,75-1,2%) por cada gramo de suplementación con GD la respuesta al suplemento en AMD fue de 27 a 45 g. Este comportamiento en la respuesta animal (AMD y conversión) a niveles crecientes de GDSS (% del PV) puede verse en la Figura 5.

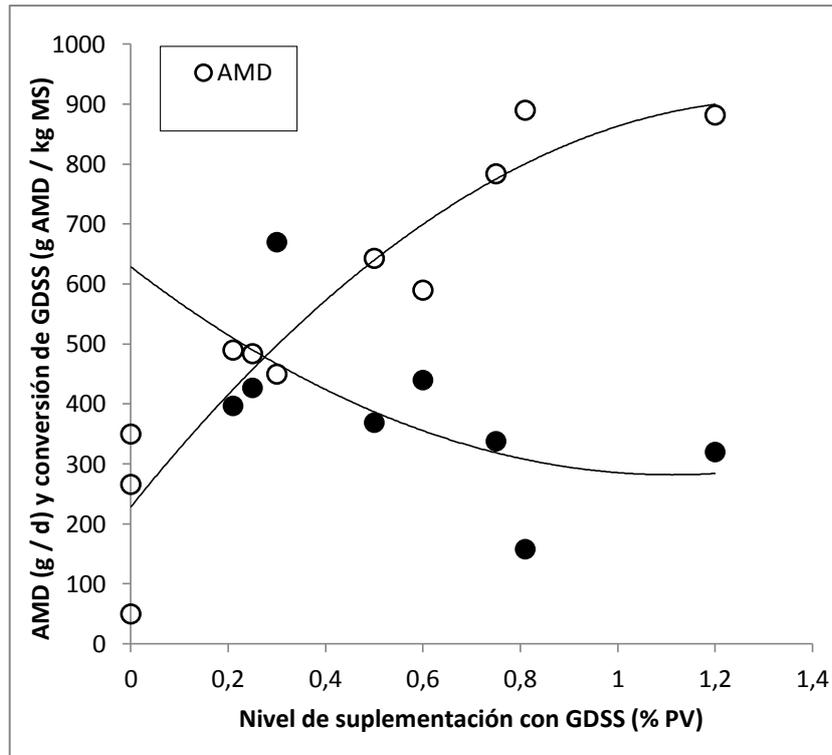


Figura5. Aumento medio diario (AMD) y conversión de suplemento según el nivel de GDSS suministrado (En base a Loy *et al.*, 2008; Jenkins *et al.*, 2009 y Gadberry *et al.*, 2010)

En general, la suplementación con GD disminuye el consumo de forraje (Leupp *et al.*, 2009) y aumenta la ganancia de peso (McDonald *et al.*, 2007). A medida que aumenta el nivel de consumo de los GD se incrementa el contenido de grasa, que reduce linealmente el consumo (McDonald *et al.*, 2007) y puede llegar a afectar negativamente la digestión de la fibra (Hess *et al.*, 2008). Con niveles superiores al 1% PV de GD el contenido de lípidos en la dieta puede comenzar a limitar la productividad animal y reducir la eficiencia del suplemento mediante un efecto depresor en la digestibilidad de la fibra y el consumo de forraje que no compensaría el incremento del consumo de energía a través de la grasa ingerida. En este sentido, se ha indicado que un contenido de lípidos superior al 6% disminuye significativamente el consumo en dietas a base de forrajes (Doreau y Chilliard, 1997).

Además de la suplementación de pasturas de baja calidad, los GD pueden también ser un suplemento efectivo para mejorar la utilización de rastrojos y/o residuos de cosecha. Jordon *et al.* (2001) evaluaron niveles crecientes de GF húmedo suministrados hasta el 1% PV en

novillitos pastoreando rastrojo de maíz. En este estudio estimaron que la suplementación con GF aumentó la receptividad, mejoró la ganancia de peso y la conversión. En un estudio similar Gustad *et al.* (2006) utilizaron GDSS como suplemento y observaron un incremento cuadrático en un rango de ganancias de peso que fueron desde 0,45 a 0,90 kg en respuesta a la suplementación. Estos autores, además observaron una disminución lineal en el consumo de rastrojo de maíz por la suplementación con GD, y sugieren que niveles superiores de suplementación al 1.1% no aumentarían significativamente la ganancia de peso.

Forrajes de buena calidad

La suplementación con GD aumenta la ganancia de peso tanto en forrajes de baja como de alta calidad (Morris *et al.*, 2006; MacDonald *et al.* 2007; Gadberry *et al.*, 2010) en respuesta al incremento en proteína metabolizable y energía (Islas y Soto-Navarro, 2011, Martínez-Pérez *et al.*, 2013).

Los forrajes de alta calidad (i.e., verdes de invierno, alfalfa, gramíneas templadas perennes) normalmente no tienen grandes limitantes en cuanto al contenido de PB, aunque si en el aporte de proteína metabolizable. En general, una de las limitantes para optimizar las ganancias de peso en forrajes de alta calidad es el exceso de NNP (Nitrógeno no proteico) y proteína rápidamente degradable (c.a. >50% del N total), y el bajo contenido de carbohidratos no estructurales. En este tipo de forrajes se demostró que el suministro de proteína pasante mediante la suplementación con gluten de maíz u otra fuente (harina de algodón, harina de plumas) mejoró la retención de N (Phillips *et al.*, 1995) y la ganancia de peso (Arelovich *et al.* 2003). En este sentido, si bien los verdes tienen elevados contenidos de PB son deficientes en el aporte de proteína metabolizable intestinal bajo ciertas condiciones de desbalance. Por lo tanto los GDSS o GDSH en base a su alto contenido de PNDR (c.a. 70% de la PB) se convertirían en un recurso importante para la suplementación de los forrajes de alta calidad.

Por otra parte, la elevada digestibilidad de la fibra de los GD es de importancia al momento de suplementar forrajes de buena calidad.

En verdes de trigo, Horn *et al.* (1995) probaron que la suplementación con fibra de alta degradabilidad (i.e., cascarilla de soja) fue más efectiva para mejorar la ganancia de peso y la conversión que los suplementos a base de almidón como el grano de maíz. Islas y Soto-Navarro (2011) utilizaron granos de destilería en suplementación en pastoreo de verdes invernales en una proporción de 0, 0.2, 0.4 y 0.6% del PV. La suplementación hasta 0.6% del PV aumentó el consumo de lípidos sin efectos adversos sobre la digestión de la FDN.

Por otra parte, varios estudios evaluaron el impacto de la suplementación con GD sobre pasturas perennes templadas durante la estación de crecimiento (Greenquist *et al.*, 2009; Griffin *et al.*, 2009, 2012). Greenquist *et al.* (2009) observaron que en pasturas de cebadilla la suplementación con 2,3 kg de GDSS aumentó 35% la ganancia de peso en novillos de 330 kg de PV respecto al control sin suplementación (AMD: 680 vs. 920 g/d). Griffin *et al.* (2012) realizaron un meta-análisis de 13 experimentos (38 tratamientos) para evaluar el efecto de la suplementación con GD sobre la respuesta animal y la tasa de sustitución de consumo de forraje. Los autores observaron un incremento en el AMD en respuesta a la suplementación con GD con solubles (Figura 6 controlar). A medida que se incrementó el nivel de suplementación el consumo de forraje disminuyó linealmente (Cuadro 10). La tasa de sustitución de forraje por suplemento fue de c.a. 200 g/kg GDSS para los niveles más bajos de suplementación y de 480 g/kg GDSS en el nivel más elevado de suplementación (c.a. 1.2%).

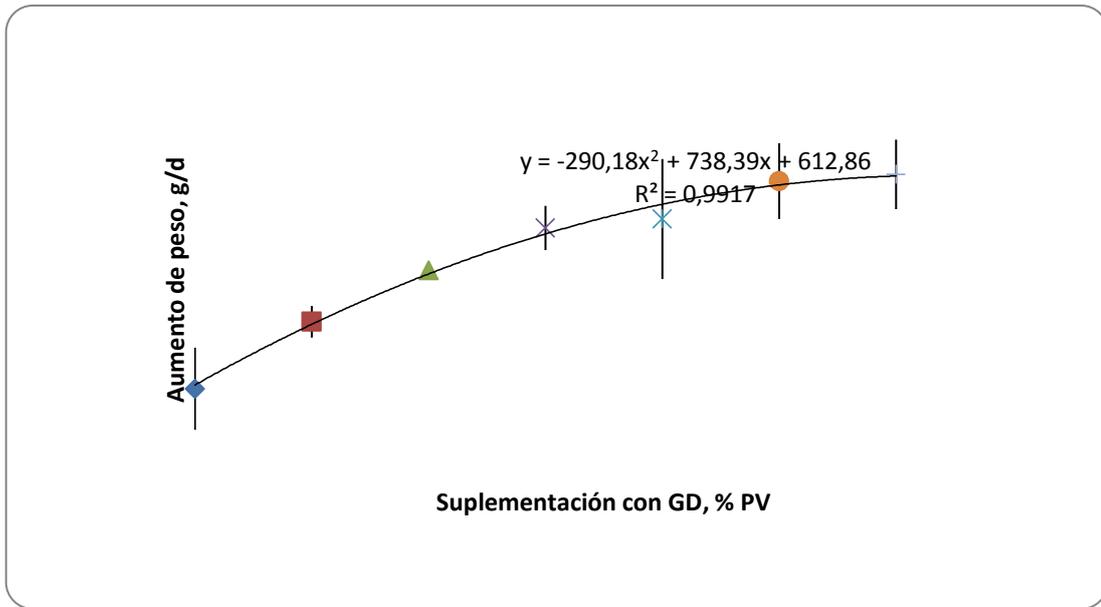


Figura 6. Aumento medio diario de peso vivo en respuesta a niveles crecientes de suplementación con granos de destilería sobre pasturas perennes en crecimiento (Adaptado de Griffin *et al.*, 2009)

Cuadro 10. Efecto del nivel de suplementación con GD sobre el consumo y la tasa de sustitución de forraje (Adaptado de Griffin *et al.*, 2012)

	Nivel de suplementación con GDSS, kg MS/d						Contrastes, Valor P	
	0	0.7	1.4	2.0	2.7	3.4	Lineal	Cuadrático
Consumo de forraje, kg MS/d	5.8	5.6	5.4	5.1	4.7	4.1	<0,01	<0,01
Consumo de suplemento, kg MS/d	-	0.7	1.4	2.0	2.7	3.4	0,31	<0,01
Sustitución, g forraje/kg suplemento	-	200	270	330	400	480	-	-

Reproducción

Desde el punto de vista reproductivo la suplementación preparto de vaquillonas para cría con fuentes de lípidos y proteína no degradable en rumen puede optimizar la actividad reproductiva y acelerar el inicio de la pubertad. La inclusión de lípidos hasta alcanzar niveles del 3% de la MS en dietas a base de forraje es recomendado para obtener el máximo beneficio de los lípidos sin afectar la utilización de los componentes dietarios restantes (Hess *et al.*, 2008). Al utilizar fuentes de PNDR (Patterson *et al.*, 2003) o lípidos (Lammoglia *et al.*, 1997; Bellows *et al.*, 2001) en hembras de gestación avanzada, se informaron mejoras en las condiciones de gestación e índice de preñez respecto al control.

Por esto los GD podrían ser beneficiosos en vaquillonas ya que poseen buena proporción de lípidos y elevada fracción de PNDR. Engel *et al.* (2008), compararon la inclusión de GDSS o de cascarilla de soja en dietas a base de heno de gramíneas en vaquillonas con preñez avanzada. Las vaquillonas que recibieron suplementación con GDSS tuvieron mayor tasa de preñez que las que recibieron cascarilla. Los autores atribuyen el efecto positivo de la suplementación con GDSS al mayor aporte energético y de proteína pasante con respecto a la cascarilla de soja. La utilización de GD en la recría de vaquillonas podría afectar también positivamente el inicio de la pubertad a través de un mayor aporte de grasa (Hess *et al.*, 2008). Los autores recomiendan la suplementación con grasa en vaquillonas de remplazo por 60 a 90 días antes del comienzo del servicio cuando el desarrollo de las mismas es normal. Sin embargo, concluyen que la suplementación con grasa en vaquillonas sobrealimentadas demora la pubertad.

Winterholler *et al.* (2012) evaluaron tres niveles de suplementación con GD, un control negativo (sin suplementación) y un control positivo (suplemento a base de harina de algodón y afrechillo de trigo) en vacas de cría durante la gestación y lactancia. En la mayoría de los parámetros evaluados el control positivo no difirió de la suplementación con GD. Sin embargo, niveles crecientes de GD aumentaron linealmente tanto el peso como la condición corporal al parto y posparto, y fueron superiores al control negativo.

Martin *et al.* (2007) contrastaron el uso de un suplemento a base de GD más solubles (i.e., Alto PNDR) con un suplemento basado en GF (i.e., bajo PNDR) en vaquillonas en desarrollo alimentadas a base de heno de pastura (8-11% PB). Los suplementos se diferenciaron sólo en el balance de PDR o PM según NRC (2000). Los autores concluyeron que los GD, al menos para los niveles de suplementación utilizados como fuente de proteína y energía, permitieron ganancias de peso moderadas, pero no adelantaron la edad de la pubertad.

Subproductos de destilados de grano en la alimentación a corral

Los granos de destilería tanto de molienda seca como de la molienda húmeda han sido ampliamente evaluados en dietas de corral como fuente de proteína, energía y fósforo.

Recría a corral

En raciones de crecimiento o recría fueron evaluados ambos tipos de subproductos (molienda húmeda y seca). Varios estudios mostraron mejor productividad animal en dietas de recría con elevado contenido de forraje utilizando GF como fuente energética que utilizando granos. El valor energético del GF en relación al grano de maíz es mayor en dietas con alta proporción de forraje. El elevado contenido proteico, y el bajo contenido de lípidos y almidón del GF permitirían utilizarlo en proporciones elevadas, reemplazando efectivamente una gran proporción de grano en dietas de crecimiento.

Ham *et al.* (1995) observaron que el reemplazo del 100% de la porción de grano de maíz en raciones de recría por GF aumentó la ganancia de peso y la eficiencia de conversión en 16%. Recientemente, Segers *et al.* (2013) evaluaron la respuesta en ganancia de peso y en parámetros de la res en dietas de recría con 75% de silaje de maíz (8,6% PB) utilizando tres fuentes proteicas diferentes: GF, GDSS, y un concentrado a base de 40% harina de soja + 60% de espiga de maíz picada. Los animales suplementados con GDSS o el concentrado tuvieron mayor ganancia de peso y mejor eficiencia de conversión que los alimentados con GF. Sin embargo, ni el área de ojo de bife, ni la grasa dorsal o intramuscular se afectó por el uso de una u otra fuente proteica.

En dietas de recría, una de las ventajas en el uso de GD es la reducción del contenido de almidón de la dieta mediante el reemplazo de granos por estos subproductos, lo cual según Vasconcelos *et al.* (2009) reduciría la deposición de grasa intramuscular en la etapa de recría. Reinhardt *et al.* (2007) en un meta-análisis (21 experimentos) concluyeron que la grasa intramuscular decrece cuando el nivel de GD supera el 23% de la ración.

Terminación a corral

En animales en terminación el objetivo es maximizar el consumo de energía para obtener el grado de engrasamiento deseado. En este sentido, existen diferencias en el contenido energético entre los subproductos de la molienda húmeda (GF) comparados con los de la molienda seca. Los primeros tienen un menor aporte de energía que los GD de la molienda seca. Algunos estudios han demostrado que el reemplazo de maíz por GF en raciones de terminación a corral mejora el AMD c.a. 4,9% (Green *et al.*, 1987, Ham *et al.*, 1995, Firkins *et al.*, 1985, Richards *et al.*, 1998, Sindt *et al.*, 2000). Sin embargo otros estudios (Green *et al.*, 1987, Trenkle, 1987) observaron una reducción de 3,5% respecto al tratamiento control sin GF. Por otra parte, la conversión alimenticia muestra también resultados contradictorios, mejoras de c.a. 7.05% (Green *et al.*, 1987, Firkins *et al.*, 1985, Tenkle, 1987) o disminución de c.a. 5.05% (Ham *et al.*, 1995, Richards *et al.*, 1998, Sindt *et al.*, 2000). Además han sido reportadas diferencias entre GF húmedo vs. Seco. Firkins *et al.* (1985) observaron que novillos alimentados con GF húmedo tuvieron menor consumo de MS (7%) y similar AMD, resultando en una mayor eficiencia alimenticia que los alimentados con GF seco. Los autores atribuyeron estas diferencias en consumo al mayor tamaño de partícula del GF seco, la cual habría afectado la tasa de pasaje y consecuentemente la extensión de la digestión.

Si se comparan los GD de la molienda húmeda con los de la molienda seca, estos últimos tendrían como ventaja en las dietas de terminación un mayor contenido energético y de PNDR que el GF.

El uso de GD en animales en terminación a corral se evaluó tanto como reemplazo del concentrado o de la fuente de fibra. Animales alimentados con GD con solubles húmedos presentaron mayor ganancia de peso que aquellos que recibieron GD secos en dietas de terminación (Erickson *et al.*, 2005). Estos autores sugieren que las ventajas del GDSH respecto al seco se deben mayormente a un mejor control de la acidosis.

La utilización del 30-40% GDSH en reemplazo de grano de maíz mejoró un 15 a 25% la conversión en dietas de terminación a corral (DeHaan *et al.*, 1982; Farlin, 1981; Firkins *et al.*,

1985; Fanning *et al.*, 1999; Larson *et al.*, 1993; Trenkle, 1997a,b; Vander Pol *et al.*, 2005a), debido al mayor valor energético de los GDSH (c.a., 102-127%).

El nivel de inclusión óptimo en las dietas es muy variable, existen datos que sugieren que un 33% de GD en dietas de terminación afectarían la calidad de la carne (Reinhardt *et al.*, 2007). Por su parte, Felix *et al.* (2011), evaluaron la inclusión de granos de destilería al 20 y 40% de la MS y concluyeron que un 20% pueden suministrarse sin efectos negativos sobre la calidad de la carne. Sin embargo, Eun *et al.* (2009) comprobaron que el nivel de inclusión no debería superar el 18.3%. En su estudio con niveles de inclusión dietaria de GDSS de hasta el 50%, Reed *et al.* (2006) no encontraron diferencias en respuesta animal y calidad de la carcasa.

Otros estudios sugieren no superar el 40% de inclusión de granos destilados en el total de la MS de la dieta (Larson *et al.*, 1993; Ham *et al.*, 1994; Al-Suwaiegh *et al.*, 2002) principalmente porque comienza a aparecer sintomatología en el animal relacionada con el alto nivel de lípidos y azufre de la dieta (Loza *et al.*, 2010). Leupp *et al.* (2008) reportaron una disminución del CMS con 45 y 60% de inclusión de GDSS en dietas al compararlas con un 15% de inclusión, estimando también que el total de AGV (ácidos grasos volátiles) producidos disminuía a partir del 30% de inclusión de GDSS. En contraste, Gibb *et al.* (2008) determinaron un aumento lineal en el CMS al incorporar mayor cantidad de GDSS de trigo (20, 40 y 60%) en dietas de terminación de vaquillonas cruce británicas base grano de cebada.

El efecto sobre el CMS es variable en función de las características nutricionales de la dieta base y del GD utilizado (maíz o trigo principalmente). En el caso de la eficiencia alimenticia o de conversión, algunos estudios sugieren que la misma aumenta para los niveles más altos de GDSS, 17.5% en dietas de crecimiento y 18.3% en dietas de terminación (Eun *et al.*, 2009). En concordancia Beliveau *et al.* (2007) y Bunckner *et al.* (2007) estimaron que a partir del 20% de inclusión de GD en dietas de terminación a base de maíz, se incrementaba de forma cuadrática la EC en novillos.

En un meta-análisis realizado por Klopfenstein *et al.* (2008) se sintetizó el resultado de varios experimentos y se concluyó que el AMD presentaba un comportamiento cuadrático con el incremento de GDSS en la ración. Para la eficiencia de conversión la respuesta fue cúbica y concluyeron que con un nivel de inclusión del 20-30% de GDSS en la dieta se estimó la máxima ganancia de peso, mientras que la máxima eficiencia de conversión se obtuvo con un nivel de inclusión del 10 al 20%. En este estudio, también reportaron que con GDSH la máxima tasa de ganancia de peso y eficiencia de conversión se alcanzaba a niveles de uso superiores a la de GDSS, y que la disminución en el valor alimenticio en respuesta al incremento del consumo de destilados fue mayor en los GDSS comparado con los GDSH.

Para Van der Pol *et al.* (2006) la máxima EC se estimó con 40% de inclusión de GD, en tanto que otros estudios sugieren que los niveles óptimos se encuentran entre 20 y 30% para dietas de terminación (Benson *et al.*, 2005; Buckener *et al.*, 2008).

Por su parte, McKinnon y Walker (2008) estimaron que un nivel de inclusión del 25% de GDSS de trigo fue suficiente para cubrir los requerimientos de proteína para el crecimiento de novillos. Al incorporar 25-50% de GDSS de trigo en dietas base grano de cebada rolada estimaron un incremento del AMD y de la EC. Sin embargo, Beliveau y McKinnon (2008) no encontraron efectos sobre el AMD, CMS y EC al agregar 23% de GDSS de trigo en dietas de terminación.

Otro estudio llevado a cabo por Walter *et al.* (2010) sobre novillos cruza, probó el efecto de GDSS de trigo y maíz sobre la performance productiva y rendimiento de la carcasa a faena en dietas a base de cebada. Estimaron que el CMS se incrementaba para GDSS de trigo y disminuía para los de maíz a medida que aumentaba la inclusión en la dieta de 20 a 40%, similar a lo encontrado por Gibb *et al.* (2008); sin efectos sobre el AMD. Estos resultados podrían asociarse al incremento en el EE en la dieta producto de la incorporación de GDSS de maíz y su efecto depresor del consumo (Zinn y Jorquera, 2007). Sin embargo, cuando la dieta fue en base a maíz, no se observó ese efecto depresor sobre el CMS como resultado de la

inclusión de GDSS de maíz. Buckner *et al.*, (2008) tampoco encontraron efectos sobre el CMS al incorporar un 40% de burlanda seca de maíz, en tanto que Benson *et al.* (2005) estimaron un incremento cuadrático al incorporar 35% del subproducto en dietas base maíz.

Eun *et al.* (2009) probaron la inclusión de GDSS en dietas de crecimiento y terminación de novillos cruza, en niveles de 10.5 y 17.5% para las dietas de crecimiento y de 11.4 y 18.3% en terminación sobre dietas en base de granos de cebada. En ningún caso se afectó la respuesta productiva con una tendencia a mejorar el AMD y reducir el CMS, sin diferenciarse significativamente entre ellos. Tampoco se afectó el peso de la carcasa a faena.

En la Figura 7 y 8 se muestra la relación entre niveles crecientes de inclusión de GD en dietas de terminación y el AMD y eficiencia de conversión, basada en 214 tratamientos provenientes de 54 publicaciones científicas. La proporción de ingredientes en los experimentos seleccionados cubre el rango de inclusión de alimentos principales: 0 a 60% GD, 8 a 93% concentrado, y 0 a 20% forraje voluminoso. Esta base de datos incluyó GD mayoritariamente de maíz, y una proporción baja representada por sorgo, trigo, cebada y triticale. En la Figura 7 se puede observar, como fue descripto previamente, la existencia de un rango de variación muy amplio en respuesta animal ante distintos niveles de inclusión de GD. Sin embargo se observa que niveles de inclusión hasta el 40% de GD incrementa el AMD en raciones de terminación a corral, y cuando la proporción de GD supera este valor el AMD disminuye. Por su parte la eficiencia de conversión (Figura 8) también muestra una relación cuadrática respecto al nivel de inclusión dietario, sin embargo alcanza la eficiencia óptima con una proporción del 30%.

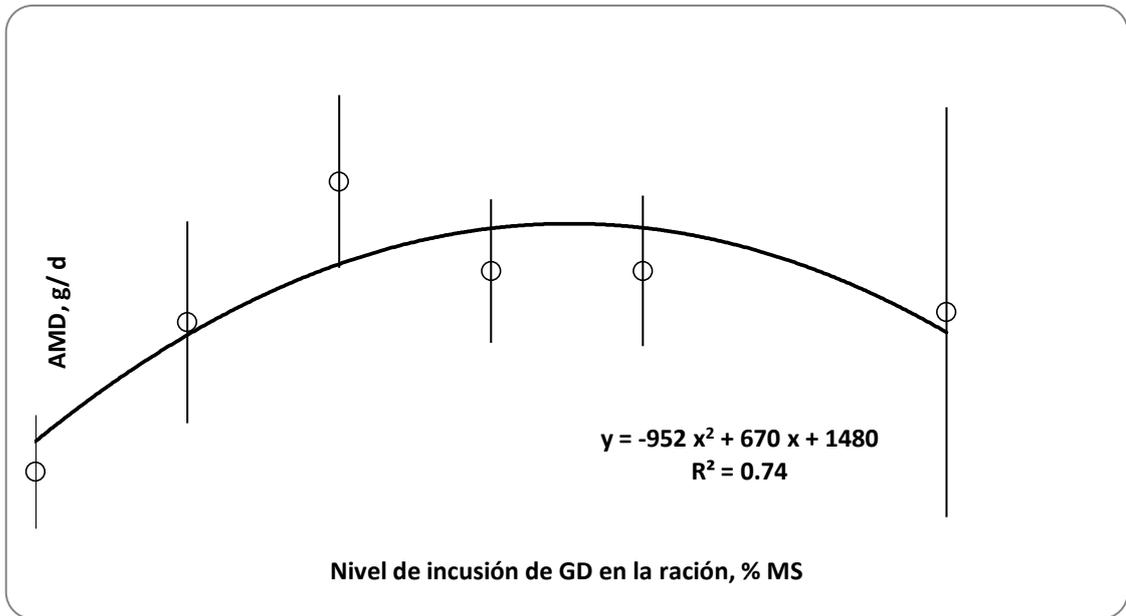


Figura 7. Nivel de inclusión de GD en raciones de terminación y aumento medio diario de peso vivo (54 artículos científicos con 214 tratamientos y 882 unidades experimentales).

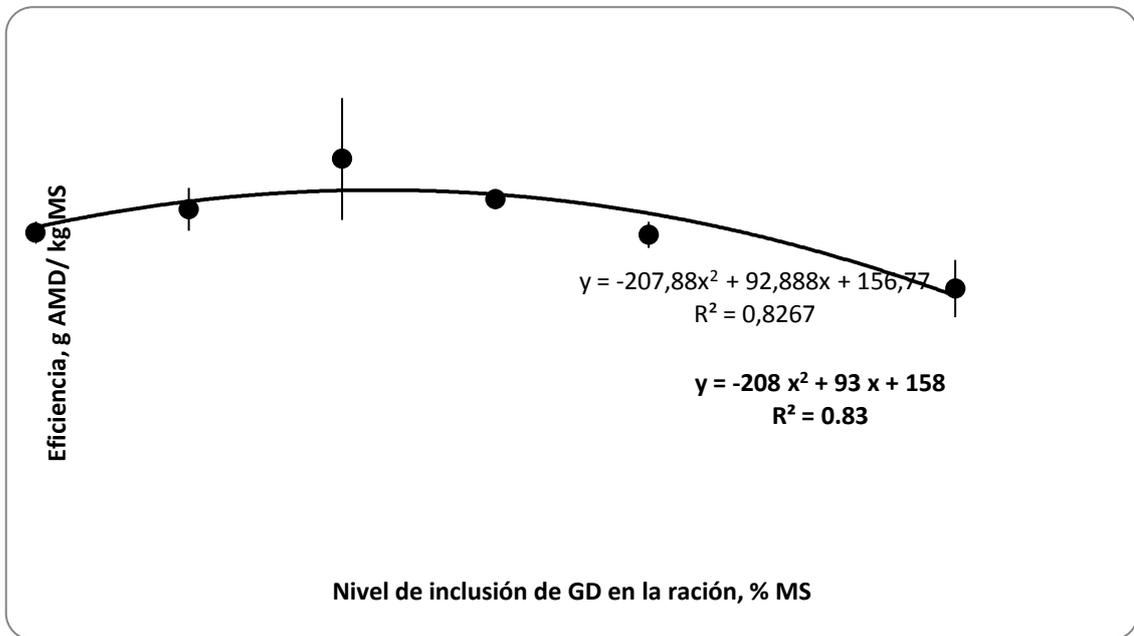


Figura 8. Nivel de inclusión de GD en raciones de terminación y eficiencia de conversión (54 artículos científicos con 214 tratamientos y 882 unidades experimentales).

De modo similar a lo observado por Klopfenstein *et al.* (2008), de la base de datos recopilada surge que los niveles de inclusión óptimos no parecen ser los mismos para AMD y eficiencia de conversión.

Desórdenes metabólicos

En cuanto a desórdenes metabólicos, el uso de GDSS de trigo o maíz no afectó la incidencia de abscesos hepáticos en novillos (Beliveau y Mckinnon. 2008; Gibb *et al.*, 2008 y Walter *et al.*, 2010). Klopfeinstein (1996) no observó abscesos hepáticos severos en animales que recibieron hasta el 40% de GDHS, en tanto que el grupo control (sin granos de destilería) los presentó en tres oportunidades, sin diferenciarse significativamente. Esto se podría atribuir a la mejora en el pH ruminal generada por el consumo de los granos de destilería al poseer bajo almidón y alta fibra (Galyean y Defoor, 2003; Klopfeinstein *et al.*, 2008).

4. Uso de subproductos y calidad de la carne

El color de la carne es un factor determinante de la aceptación por parte del consumidor. Al oxidarse los lípidos que ésta contiene se producen radicales libres que resultan en una decoloración parduzca de la carne y en la aparición de olor y sabor rancios (Yang *et al.*, 2002).

Los GD contienen tocoferoles, sustancias naturales conocidas como poderosos agentes antioxidantes (Gordon *et al.*, 2002), y también pigmentos amarillos conocidos como xantofilas (Roberson *et al.*, 2005), los cuales pueden mejorar o preservar ciertos atributos de coloración de la carne durante su conservación. Al respecto, Koger *et al.* (2010) encontraron que las dietas que contenían GDSS poseían mayores niveles de alfa-tocoferol respecto a las que tenían GDHS, no obstante esto no se tradujo en mayores niveles de este compuesto en la carne. Por su parte, Roeber *et al.* (2005) relacionaron el uso de GD en novillos Holstein con una mayor coloración roja (valores de a^* , según sistema de medición CIELAB; CIE, 1978) de la carne en comparación con dietas a base de grano de maíz. Además observaron que con 10-25% de GDHS o GDSS de maíz se mantenía o mejoraba ligeramente la vida útil de la carne, sin efectos en la palatabilidad; pero que con 40-50% de inclusión de GD se perjudicaba la estabilidad en la coloración de la carne. Esto podría deberse a que elevados niveles de inclusión de GD incrementan fuertemente la cantidad de AGPI en la carne, aumentando su susceptibilidad a la

oxidación con posibles efectos en la estabilidad, en la coloración, rancidez y desarrollo de sabores desagradables (Aalhus y Dugan, 2004). Así, al evaluar la aceptación del consumidor, Roeber *et al.* (2005) determinaron que un mayor porcentaje de la carne proveniente de animales alimentados con un 40% de GDS secos o húmedos fue considerado moderadamente inaceptable por el consumidor. La carne proveniente de animales que recibieron un 25% de GDS presentó una mejor coloración, más roja, respecto a los que recibieron 0% o 50% de GDS.

Por su parte Gill *et al.* (2008), estudiaron el efecto de la incorporación de GD (15% de la MS), secos y húmedos, de maíz y de sorgo, en dietas a base de maíz para novillitos cruza, y estimaron que la dieta no afectó los atributos sensoriales de la carne, con resultados variables en la coloración de la misma según el tiempo de sacrificio del animal. Mientras que al comparar los efectos del uso de GDSS de maíz y trigo, al 20 y 40%, Aldai *et al.* (2010) encontraron que el tratamiento control a base de cebada presentó una coloración de carne más oscura y una menor terneza que los demás tratamientos. La terneza, palatabilidad, intensidad de sabor y atractivo fueron mayores en la carne proveniente de los animales que consumieron GDSS de maíz ubicándose los de trigo en valores intermedios.

Kropf *et al.* (2003) sugieren que un nivel de inclusión del 40% de GD en dietas de terminación a base de maíz, proporcionan una cantidad de carbohidratos suficientes para mantener el pH normal de la carne. A su vez, Koger *et al.* (2010) observaron que la inclusión de GDSS no afectó el contenido de glucógeno en el músculo *Longissimus dorsi*, el cual se asocia directamente con el color del músculo y su pH final (Lawrie, 1998), y a su vez repercute en el color final de la carne y su terneza (Dutson, 1983). Sin embargo, otro trabajo estableció un aumento lineal de la terneza miofibrilar y total de la carne a medida que aumentaba el contenido de GDS en la dieta de 0 a 75% de la MS (Deppenbusch *et al.*, 2009).

Wierenga *et al.* (2010) evaluaron la inclusión de 20, 25 y 30% de GDS de triticale en dietas de terminación sobre grano de cebada y sobre silaje de cebada. Al reemplazar grano de cebada por GDS se estimó un aumento de la grasa de la carcasa pero no así al reemplazar el silaje por

GDS. Sobre una dieta basada en silaje de maíz y heno de alfalfa, Klopfenstein (1996) tampoco encontró diferencias en espesor de grasa a faena respecto al control al incluir 52, 126 y 400 g/kgMS de granos de destilería húmedos en novillos y terneros de feedlot. En tanto que en dietas a base de maíz partido y harina de soja, Koger *et al.* (2010) registraron un mayor espesor de la grasa dorsal en novillos alimentados con 20 y 40% de GDS secos y húmedos, sin encontrar efectos en la grasa intramuscular (marmoreo). Estos resultados concuerdan con lo estimado por Klopfenstein *et al.* (2008) quienes observaron un efecto cuadrático en el aumento del espesor de la grasa a medida que aumentaba la inclusión de GDS en la dieta de 10 a 30%. En contraste a estudios previos en que no se observaron diferencias en el espesor de grasa sobre novillos (Ham *et al.*, 1994; Lodge *et al.*, 1997; Vander Pol *et al.*, 2004) ni vaquillonas (Vander Pol *et al.*, 2004) al utilizar GDSS. Por su parte, Gibb *et al.* (2008) observaron un descenso en el espesor de la grasa al aumentar el nivel de GDSS a 60%, sin afectar el rendimiento al gancho. Contrariamente, Benson *et al.* (2005) y Walter *et al.* (2010) estimaron un aumento del rendimiento al gancho al aumentar el nivel de GDSS de maíz en una dieta a base cebada, hasta 26 y 35% respectivamente en novillos.

Al-Suwaiegh *et al.* (2002), Beliveau y Mckinnon (2008) y Depenbusch *et al.* (2009) tampoco detectaron efectos de la inclusión de GDS en la grasa de marmoreo. De la misma manera, Meyer *et al.* (2010) observaron que la inclusión de GDSS de trigo y cebada, solos o en combinación con harina de colza como fuente proteica, no afectaron la calidad de la carcasa en machos Holstein. Sin embargo, Eun *et al.* (2009) estimaron una tendencia a aumentar la grasa de marmoreo y disminuir el área de ojo de bife en novillos británicos cruza.

Otro aspecto importante a considerar en calidad de carne son los cambios en composición que pueden inducirse a través de alimentación, siendo los más importantes desde el punto de vista de la salud humana, aquellos relacionados con la cantidad y tipo de ácidos grasos presentes en la carne vacuna. Se ha estudiado la efectividad de diferentes estrategias alimenticias para manipular el perfil lipídico tendientes a reducir la proporción de ácidos

grasos saturados (AGS), fundamentalmente el ácido palmítico (C16:0) y aumentar la proporción de AG poli-insaturados (AGPI), en especial aquellos de la familia omega-3 (Ω 3). Además, la reducción de la relación AGS/AGPI, mantener por debajo de 4 la relación omega-6/omega-3 (Ω 6/ Ω 3) y maximizar la concentración del isómero cis-9, trans 11 del ácido linoleico conjugado (CLA) por sus potenciales efectos contra el cáncer, han sido estudiadas por ser consideradas de gran interés y prioridad institucional en la última década, y pueden consultarse en diferentes publicaciones editadas por INTA (Martínez Ferrer, 2010; Pordomingo *et al.*, 2013). A continuación, se resumen algunos trabajos en los que se estudiaron los efectos de la inclusión de GD, diferentes niveles y tipos, y su interacción con la dieta base, sobre los cambios inducidos en el perfil de AG de la carne vacuna.

Aldai *et al.* (2010b) al comparar dietas a base de grano de cebada con y sin el agregado de GDSS de maíz o trigo, encontraron que la carne proveniente de animales alimentados con burlanda de trigo tenían un perfil de ácidos grasos más favorable que la proveniente de los que consumían burlanda de maíz, debido a un incremento de la relación Ω 6/ Ω 3. La inclusión de GDSS de maíz también provocó un mayor contenido de AG trans 18:1 y sus isómeros, lo cual sería positivo, por ser precursores endógenos de CLA. La dieta no afectó el contenido AGS ni de CLA en la grasa dorsal de los animales; pero sí afectó el contenido de AGPI, siendo mayor al utilizar GDSS, resultados que concuerdan con Dugan *et al.* (2008) y Koger *et al.* (2010). Depenbusch *et al.* (2009) concluyeron que al aumentar el contenido de GD con solubles en la dieta se incrementaba el contenido de ácido linoleico y el total de AGPI Ω 6.

La inclusión de 40% de GDS respecto a un 20% de la MS redujo las cantidades de C17:0, C18:1c9 y algunos AG monoinsaturados (AGMI) y mejoró la cantidad total de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), sin cambios significativos en los isómeros cis-9 y trans-11 del CLA (Koger *et al.*, 2010).

Beaulieu *et al.* (2002), Felton y Kerley (2004) y Koger *et al.* (2010) no encontraron ninguna influencia de la dieta sobre el contenido de CLA, a diferencia de Depenbusch *et al.* (2009a)

quienes si observaron un incremento en el contenido de CLA al incluir GDSS en la dieta. Por su parte Gill *et al.* (2008), informaron que la inclusión de GD (15% de la MS) de maíz y sorgo en su forma seca presentó una mayor concentración de CLA en la carne respecto a la forma húmeda de dichos GD. En general el suministro de cualquier tipo de GD incrementó la relación $\Omega 6:\Omega 3$ respecto a la dieta base, presentando el GD de maíz los mayores valores. Algunos autores estimaron que a medida que se incrementaban los niveles de GD (seco y húmedo; maíz y sorgo) se reducía linealmente el contenido de AG de cadena ramificada y aumentaba el contenido total e individual de AG trans en la grasa dorsal (Gill *et al.*, 2008; Van der Pol *et al.*, 2009). La variabilidad en la respuesta encontrada entre distintos trabajos podría deberse a que el perfil de AG de la carne es más sensible a la cantidad de lípidos dietarios cuando los mismos presentan cierta resistencia a la biohidrogenación ruminal (Rule *et al.*, 1994).

6. Compuestos antinutricionales

6.1 Micotoxinas

En los GD las micotoxinas están presentes principalmente debido al procesamiento de granos que ya vienen contaminados, y que durante el proceso de fermentación o secado no se metabolizan (Liu, 2011). El nivel de estas puede afectar a las levaduras en la fermentación y disminuir el rendimiento de etanol, por lo que alteraría aún más la concentración de cada nutriente. De hecho, la concentración de micotoxinas presentes en el grano se triplica en los GD. Este es un punto importante, ya que si el nivel de micotoxinas presentes en la burlanda es alta, el grado de consumo sería restringido y se debería mezclar con otros ingredientes en la dieta que diluyan su concentración (García *et al.*, 2008).

Las micotoxinas son metabolitos secundarios de hongos que afectan negativamente la salud, crecimiento, y reproducción en mamíferos. Las aflatoxinas (B1, B2, G1 y G2) son las más tóxicas y son producidas por especies de *Aspergillus*. La formación de aflatoxinas se da generalmente en cultivos que crecen bajo condiciones de estrés hídrico y altas temperaturas, o

bajo condiciones de almacenaje de alta humedad. Por otra parte, el deoxinivalenol (DON o vomitoxina) es una micotoxina producida por *Fusarium graminearum*, el mismo que produce la Zearalenona (metabolito con actividad estrogénica). Este hongo sobrevive en los residuos de cultivos previos, y ciertas condiciones climáticas (alta humedad) favorecen el crecimiento del hongo en la planta de maíz. En general durante el almacenamiento no es una fuente potencial de producción de DON o zearalenona (Richard, 2000) si se almacena con humedad menor de 14%. En un estudio (Zhang *et al.*, 2009) realizado en el cinturón maicero de EUA si bien se observó presencia de vomitoxina, zearalenona, aflatoxinas, y toxina T-2, la frecuencia y concentración de estas micotoxinas fueron bajas.

6.2 Azufre

El exceso de azufre (S) en dietas para rumiantes (c.a., >0,4% S de la MS; NRC, 1996) puede generar problemas neurológicos como la poliencefalomalacia (PEM). Sin embargo el efecto subclínico por elevado contenido de azufre es quizás económicamente más relevante. Drewnoski *et al.*, (2013) evaluaron dietas de terminación con niveles moderados (0,3%) y elevados (0,6%) de azufre. En este estudio estimaron una disminución de c.a. 18% en AMD y la eficiencia de conversión en los primeros 42 días de alimentación en el tratamiento con 0,6% S respecto al de 0,3% S (Cuadro11). En todo el período de alimentación (98 días) en el tratamiento con elevado S se redujo el AMD y la eficiencia de conversión respecto al que presentaba S moderado, c.a. 15% y 14% respectivamente. Estas diferencias en desempeño animal estuvieron asociadas con un menor consumo y mayor concentración ruminal de sulfhídrico en el tratamiento de S elevado.

Cuadro 11. Respuesta animal a raciones de terminación con niveles moderados (0,3%)y elevados (0,6%) de azufre (Adaptado de Drewnoski *et al.*, 2013)

Días en alimentación	Azufre dietario, %		EEM	Valor P
	0.3	0.6		
	Aumento medio diario, kg/d			
0-42 d	2.61	2.13	0.15	0.04
43-98 d	1.86	1.59	0.08	0.02
0-98 d	2.20	1.85	0.11	0.05
	Eficiencia de conversión, g AMD/ kg MS			
0-42 d	220	180	12.6	0.01
43-98 d	148	132	8.9	0.01
0-98 d	178	153	8.9	0.05

El S consumido es reducido por las bacterias a sulfuro de hidrógeno, y su acumulación en el rumen puede tener efectos tóxicos. Adicionalmente el S en exceso interfiere en la absorción y metabolismo del cobre. Bajo estas condiciones es necesario incrementar los niveles de Cu cuando se suministran elevados niveles de S por largos períodos de tiempo. Vanness *et al.* (2009) en una revisión de varios estudios con GD mostraron que la incidencia de PEM aumentó cuando el S en la dieta aumentó de 0,4 a 0,56% en dietas concentradas (6-8% forraje voluminoso). En dietas con alto contenido de S y almidón rápidamente fermentable (>30%), y bajo contenido de fibra efectiva, la incidencia de PEM aumentó (Drewnoski *et al.*, 2011). Vanness *et al.* (2009) estimaron que niveles de inclusión de GD elevados (40% MS) aumentaba el nivel de azufre por encima de los niveles máximos tolerantes para PEM. El contenido de S es altamente variable entre GD y varía entre 0,31 y 1,93% (US Grain, 2012). Sin embargo el manejo de la alimentación y el nivel de fibra dietaria, reducen la incidencia de toxicidad por azufre. A nivel nacional es importante evaluar el contenido y la variabilidad de S en los GD, así como las situaciones en las que son utilizados dichos granos (aguas con elevado nivel de sulfatos, dietas a base de forraje o concentrados, reservas forrajeras, etc.).

7. Conservación y manipulación de subproductos húmedos y secos

En general, el almacenamiento de los GD es dificultoso, especialmente cuando tienen

solubles, por lo que la conservación mediante el ensilado es una alternativa interesante de evaluar (Anderson *et al.*, 2009)

Los subproductos expuestos al aire durante 3 a 14 días se deterioran en la parte superficial del almacenaje. La estabilidad depende de la temperatura ambiente, a temperaturas elevadas se deteriora más rápidamente. Tanto los GD húmedos como el GF húmedo tienen pH ácido, c.a. 4,0-4,5. Con esta acidez, la fermentación es potencialmente mínima. En base a estas características si el aire es totalmente excluido, el material se puede almacenar indefinidamente. Sin embargo, existe intercambio de aire en la parte superficial del almacenaje. La principal limitante en el almacenaje de GD húmedos (35% MS) es la dificultad en la compactación del material durante el mismo.

Materiales absorbentes (ej., forrajes o granos secos) pueden utilizarse para aumentar el volumen y el contenido del material a almacenar. Los GD húmedos modificados (50% MS) parecen tener suficiente densidad para el embolsado. Pueden embolsarse sin compactación, aunque este método es menos eficiente en la relación volumen-área de almacenaje, sumado a que se producen algunos bolsones de aire que deterioran el material. El embolsado bajo presión (300 psi) puede generar ruptura de las bolsas pocos días después de embolsado. Erickson *et al.* (2005) proponen el uso de diluyentes voluminosos secos para mejorar el almacenamiento. Por ejemplo, heno de gramíneas, alfalfa, paja de trigo, rastrojo de maíz e incluso cáscara de maní para ser usado en cría. Los autores recomiendan utilizar niveles de 5% de paja o rastrojo de maíz (c.a., 12,5% en base seca) para embolsar GD húmedos. Para mezclas con henos de mejor calidad, como henos de gramíneas templadas, debe incrementarse la proporción de heno en la mezcla hasta 6 o 6,5% (c.a., 15% en base seca) de la mezcla total. Con henos de alfalfa, los autores recomiendan utilizar 22,5% de heno y 77,5% de GD húmedos.

La conservación es uno de los puntos críticos en el uso de estos subproductos, ya que si bien se recomiendan determinadas alternativas de manejo, no hay información sobre lo que sucede con el almacenamiento durante períodos prolongados.

8. Implicancias y conclusiones

La concentración de nutrientes presentes en el material original (ej., extracto etéreo, proteína bruta, fibra, y minerales) que no se consumen durante la producción de etanol se triplican en el subproducto resultante, sin embargo, como sucede con la mayoría de los subproductos agroindustriales, su composición nutricional es variable debido al proceso de molienda, el tipo de grano, la extensión de la fermentación, condiciones de secado, y cantidad de solubles incorporados en el subproducto. La variación en la composición es uno de los factores más importantes a tener en cuenta cuando se pretende valorizar nutricionalmente estos productos. En este sentido, es importante remarcar la necesidad de evaluación de los GD a nivel nacional de modo tal que la industria procesadora logre la mayor eficiencia en sus procesos industriales y el productor pueda contar con productos de estabilidad composicional.

Los subproductos de la molienda húmeda (ej., GF) tienen menor concentración de nutrientes que los provenientes de la molienda seca. Ambos subproductos en su estado original presentan elevado contenido de humedad (c.a. 45 a 75%) que limita su uso bajo determinado tipo de raciones y su conservación por períodos prolongados.

Los productos de destilería (molienda seca o húmeda) son una excelente fuente de proteína para la alimentación animal. Los de la molienda seca son particularmente ricos en proteína no degradable en rumen, aunque existe un rango amplio de variación que debe ser tenido en cuenta al momento de formular raciones. Por otra parte, el proceso de secado altera la disponibilidad de la proteína ruminal y en algunos casos la disponibilidad intestinal de aminoácidos.

Con respecto al contenido de energía, los subproductos provenientes de la molienda seca tienen mayor aporte energético que los granos. Mientras que los de la molienda húmeda (ej. GF) tienen comúnmente un contenido energético similar o levemente inferior al de los granos.

La concentración de los minerales se triplica, aunque el contenido de azufre puede verse quintuplicado en las plantas que utilizan ácido sulfúrico para controlar el pH de la fermentación. En estos casos es importante prestar particular atención porque niveles elevados de azufre dietario reducen la productividad animal y en casos extremos causan toxicidad.

Los granos de destilería son una excelente fuente de proteína, energía, y minerales para suplementar rodeos de cría, recría, y engorde bajo pastoreo. En forrajes de baja y mediana calidad tanto los GD provenientes de la molienda seca o húmeda utilizados como suplementos energético-proteicos mejoran sustancialmente la productividad y eficiencia en comparación con los suplementos tradicionales a base de harinas de oleaginosas y granos. Por su parte, el GF debido a su bajo contenido de almidón puede utilizarse a niveles relativamente elevados sin afectar adversamente la utilización del forraje base. Los GD de la molienda seca se complementan perfectamente con los forrajes de baja calidad debido a su elevado aporte de proteína y PNDR. Sin embargo, la elevada concentración de grasa limita su nivel de uso como suplemento. Niveles superiores al 1 o 1,1% (MS/ PV) deprimen la utilización del forraje y no representan un beneficio significativo en el desempeño animal.

En forrajes de alta calidad, los GD son una excelente fuente de PNDR y fibra digestible que como suplementos incrementan el estatus de proteína metabolizable y de energía (a través del extracto etéreo y fibra digestible) lo que repercute directamente en una mejora sustancial en la respuesta animal.

En la recría a corral una ventaja de los GD, además del aporte de proteína y PNDR, es el bajo contenido de almidón lo que reduciría la deposición de grasa intramuscular en esta etapa de alimentación. Este efecto se manifiesta particularmente cuando los niveles de GD superan el 23% de la ración.

La respuesta al uso de GD en corrales de terminación es variable, sin embargo de los trabajos revisados se observa que hasta un 40% de inclusión mejora la ganancia de peso.

Mientras que la eficiencia de conversión alcanza su óptimo con niveles cercanos al 30%. La variabilidad en respuesta animal depende de la gran variabilidad que tienen los subproductos en composición (tipo de grano, procesamiento, región, tipo de híbrido, etc). A esto debe sumarse el tipo y nivel de concentrado de la dieta base, así como el tipo y nivel de forraje voluminoso que interactúan con los distintos tipos de granos de destilería.

Es imperante avanzar en materia de investigación a nivel nacional a fin de generar información de valor para el productor ganadero, asesores técnicos y empresas relacionadas con la nutrición animal, a la vez que sea desencadenante de futuros trabajos experimentales.

9. Bibliografía

- Aalhus, J. L., & Dugan, M. E. R. 2004. Spoilage, factors affecting (b) oxidative and enzymatic. In W. K. Jensen, C. Devine, & M. Dikeman (Eds.), *Encyclopedia of meat sciences*. 1330–1336. Oxford: Elsevier.
- Al-Suwaiegh S, Fanning K C, Grant R J, Milton C T y Klopfenstein T J. 2002. Utilization of distillers grains from the fermentation of sorghum or corn in diets for finishing beef and lactating dairy cattle. *J Anim Sci* 2002, 80:1105-1111.
- Aldai, N, Aalhus, J, Dugan, M, Robertson, W, McAllister, T, Walter, L, McKinnon, J. 2010a. Comparison of wheat- versus corn-based dried distillers' grains with soluble on meat quality of feedlot cattle. *Meat Science* 84: 569-577.
- Aldai, N, Dugan M, Aalhus J, McAllister T, Walter L, McKinnon J. 2010b. Differences in the trans-18:1 profile of the backfat of feedlot steers fed wheat or corn based dried distillers' grains. *Anilam Feed Science and Technology*. 157:168-172.
- Anandan,S., Hazda Zoltan, A., Khan,D., Ravia, Michael Blümmel. 2012. Feeding value of sweet sorghum bagasse and leaf residues after juice extraction for bio-ethanol production fed to sheep as complete rations in diverse physical forms. *Animal Feed Science and Technology* 175:131– 136.
- Anderson, J. L., D. J. Schingoethe, K. F. Kalscheur, and A. R. Hippen. 2006. Evaluation of dried and wet distillers grains included at two concentrations in the diets of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci*. 89:3133-42.
- Anderson, J., Kalscheur, K., Garcia, A., Schingoethe, D. and Hippen, A. 2009. Ensiling characteristics of wet distillers grains mixed with soybean hulls and evaluation of the feeding value for growing Holstein heifers. *J Anim Sci* 87:2113-2123.
- Arelovich, H.M., Arzadún, M.J., Laborde, H.E. y Vasquez, M.G. 2003. Performance of beef cattle grazing oats supplemented with energy, escape protein or high quality hay. *Anim. Feed Sci. and Tech*. 105:29-42.
- Balat, M., Balat, H. y Oz, C. 2008. Progress in bioethanol processing. *Progress in Energy and Combustion Science* 34: 551-573.
- Beaulieu, A, Drackley J, y Merchen N. 2002. Concentrations of conjugated linoleic acid (*cis*-9, *trans*-11-octadecadienoic acid) are not increased in tissue lipids of cattle fed a high-concentrate diet supplemented with soybean oil. *J. Anim. Sci*. 80:847–861.
- Beliveau, R.M., McKinnon, J.J., Racz, V.J., 2007. Effects of wheat based distillers grains in a barley ration on the performance and carcass quality characteristics of feedlot steers. *J. Anim. Sci*. 85 (Suppl. 1), 411

- Beliveau R.M y McKinnon J.J. 2008. Effect of titrated levels of wheat-based dried distillers grains with solubles on performance and carcass characteristics of feedlot steers. *Can. J. Anim. Sci.* 88: 677_684.
- Bellows, R.A., Grings EE, Simms DD, Geary TW, y Bergman JW. 2001. Effects of feeding supplemental fat during gestation to first-calf beef heifers. *Prof. Anim. Sci.* 17:81–89.
- Belyea, R, Rausch, K, Tumbleson, M. 2004. Composition of corn and distillers dried grain with solubles from dry grind ethanol processing. *Bioresource Technology.* 94: 293-298.
- Belyea, R, Rausch, K, Clevenger, T, Singh, V, Johnston, D y Tumbleson, M. 2010. Sources of variation in composition of DDGS. *Animal Feed Science and Technology.* 159: 122-130.
- Benson, C.S., Wright, C.L., Tjardes, K.E., Nicolai, R.E. y Rops, B.D. 2005. Effects of feeding varying concentrations of dry distiller's grains with solubles to finishing steers on feedlot performance, nutrient management and odorant emissions. *South Dakota Beef Report.* 2005_13: 59_67.
- Blasi D. A.; Drouillard J.; Brouk M. J. and Montgomery, S. 2001. Corn gluten feed composition and feeding value for beef and dairy cattle. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Service. Kansas. EEUU.
- Brouk, M. J. 1994. Net energy for lactation and ruminal degradability of wet corn distillers grains. PhD Diss. South Dakota State Univ. Brookings.
- Buckner, C. D., T. L. Mader, G. E. Erickson, S. L. Colgan, K. K. Karges, and M. L. Gibson. 2007. Optimum levels of dry distillers grains with solubles for finishing beef steers. *Nebraska Beef Cattle Report.* MP90:36–38
- Buckner C. D., Wilken M. F., Benton J. R., Vanness S. J., Bremer V. R., Klopfenstein T. J., Kononoff P. J. y Erickson, G. E.. 2011. Nutrient variability for distillers grains plus solubles and dry matter determination of ethanol by-products. *Department of Animal Science, University of Nebraska, Lincoln 68583-0908 The Professional Animal Scientist* 27 (2011):57–64
- CADER (Cámara Argentina de Energías Renovables). 2012. Evolución del mercado de biocombustibles en Argentina. Disponible: <http://www.cader.org.ar/informes-y-estudios/evolucion-del-mercado-de-biocombustibles-en-la-argentina.htm>. 07/03/2013
- CARBIO (Cámara Argentina de Biocombustibles). 2013. Exportaciones argentinas de biodiesel. Disponible: http://www.carbio.com.ar/es/?con=bio_estadisticas. 07/05/2013.
- Cavalho, L, Melo, D, Pereira, C, Rodrigues, A, Cabrita, A y Fonseca, A. 2005. Chemical compositions, in vivo digestibility, N degradability and enzymatic intestinal digestibility of five protein supplements. *Animal Feed Science and Technology.* 119: 171-178.

- CIE. 1978. International commission on illumination, recommendations on uniform color spaces, color difference equations, psychometric color terms. Supplement N°15 to CIE publication N°15 (E-1.3.1) 1971/(TO-1.3). Bureau Central de la CIE, Paris, France.
- Corrigan, M., G. Erickson, T. Klopfenstein, K. Vander Pol, M. Greenquist, and M. K. Luebbe. 2007. Effect of corn processing method and wet distillers grains inclusion level in fiethod a diets. *J. Anim. Sci.* 85(Suppl. 2):130.
- Cromwell, G. L., V. W. Hays, C. W. Schere and J. R. Overfield. 1972. Effects of dietary calcium and phosphorus on performance and carcass metacarpal and turbinate characteristics of swine. *J. Anim. Sci.* 34:746.
- Cromwell, G. L. ; Herkelman, K. L. ; Stahly, T. S., 1993. Physical, chemical, and nutritional characteristics of distillers dried grains with solubles for chicks and pigs. *J. Anim. Sci.*, 71 (3): 679-686
- DeHaan K. A., Klopfenstein T., Stock R., Abrams S. y Britton B. 1982. Wet distillers byproducts for growing ruminant. Nebraska Beef Cattle Research Report MP43 Nebraska Cooperative Extension Service, Lincoln, Nebraska. Pp 33-35.
- Depenbusch, B. E., C. M. Coleman, J. J. Higgins, and J. S. Drouillard. 2009a. Effects of increasing levels of dried corn distillers grains with solubles on growth performance, carcass characteristics, and meat quality of yearling heifers. *J. Anim. Sci.* 87:2653–2663.
- Depenbusch, B, Loe E, Sindt J, Cole N, Higgins J, y Drouillard J. 2009b. Optimizing the use of distillers grains in finishing diets containing steam-flaked corn. *J. Anim. Sci.* 87:2644–2652.
- Di Lorenzo, N y Galyean, M. 2010. Applying technology with newer feed ingredients- Do the paradigms apply?. *J Anim. Sci.* 88 (E. Suppl): E123-E132.
- Di Lorenzo, N. 2013. Uso de subproductos de la producción de etanol en nutrición animal. En 4º Jornada Nacional de Forrajes Conservados Ediciones INTA. 2013.
- DIMEAGRO (Dirección de Mercados Agroalimentarios). 2009. Sub-productos de la Industria de la Molienda Húmeda del Maíz. Gluten feed Gluten meal. Disponible: http://www.vet.unicen.edu.ar/html/Areas/Prod_Animal/Documentos/2009/GLUTEN%20FEED-GLUTEN%20MEAL.pdf. 05/03/2013.
- DOREAU, M. y CHILLARD, Y. (1997). Effects of ruminal or postruminal fish oil. *Reprod. Nutr. Dev.*, 37: 113-124.
- Drewnoski E., Richter E. L.,y Hansen S. L. 2012. Dietary sulfur concentration affects rumen hydrogen sulfide concentrations in feedlot steers during transition and finishing *M J ANIM SCI* December 2012 90:4478-4486; published ahead of print June 28.

- Dugan, M. E. R., Aldai, N., Gibb, D. J., McAllister, T. A., Rolland, D. C. and Kramer, J. K. G. 2008. Substituting dried distillers' grains from wheat for rolled barley in finisher diets improves the trans-18:1 composition in beef fat. In Proceedings 54th International Congress of Meat Science and Technology (Session 2B: Human Nutrition Challenges), Cape Town, South Africa.
- Dutson, T. 1983. The measurement of pH in muscle and its importance to meat quality. Pages 92–97 in Proc. 36th Recip. Meat Conf., Fargo, ND. Natl. Livest. Meat Board, Chicago, IL.
- Engel CL, Patterson HH y Perry GA. 2008. Effect of dried corn distillers grains plus solubles compared with soybean hulls, in late gestation heifer diets, on animal and reproductive performance. J. Anim. Sci. 86: 1697-1708.
- Erickson, G.E., Klopfenstein, T.J., Adams, D.C. & Rasby, R.J. 2005. General overview of feeding corn milling co-products to beef cattle. En: Corn Processing Co-Products Manual. University of Nebraska. Lincoln, NE, USA
- Eun, J., ZoBell, D. and Wiedmeier, R. 2009. Influence of replacing barley grain with corn-based dried distillers grains with solubles on production and carcass characteristics of growing and finishing beef steers. Animal Feed Science and Technology 152: 72–80.
- Fanning, K, T. Milton, T. Klopfenstein and M. Klemesrud. 1999. Corn and sorghum distillers grains for finishing cattle. Nebraska Beef Rep. MP-71-A:32.
- FAO. 2008a. Electronic forum on biotechnology in food and agriculture: conference 15. Disponible:
- FAO, 2008b. [Opportunities and challenges of biofuel production for food security and the environment in Latin America and the Caribbean](#). Document (LARC/8/4) prepared for the 30th Session of the FAO Regional Conference for Latin America and the Caribbean, held in Brasilia, Brazil, 14-18 April 2008. In English, French and Spanish.
- FAO, 2008c. The State of Food and Agriculture 2008: Biofuels: prospects, risks and opportunities. In Arabic, Chinese, English, French, Russian and Spanish.
- Farlin, S. D. 1981. Wet distillers grain for finishing cattle. Anim. Nutr. Health 36:35
- Felix, T. Radunz, A. and Loerch, S. 2011. Effects of limit feeding corn or dried distillers grains with solubles at 2 intakes during the growing phase on the performance of feedlot cattle. J ANIM SCI, 89:2273-2279.
- Felton, E., y Kerley M. 2004. Performance and carcass quality of steers fed different sources of dietary fat. J. Anim. Sci. 82:1794–1805.
- Firkins, J. L., L. L. Berger, and G. C. Fahey, Jr. 1985. Evaluation of wet and dry distillers grains and wet and dry corn gluten feeds for ruminants. J. Anim. Sci. 60:847.

- Fleck A.T. y Lusby K.S. 1986. Corn gluten feed or soybean meal as a winter supplement for pregnant beef cows grazing native range. Animal Science Research Report. Oklahoma Agricultural Experiment Station, Stillwater.
- Gadberry M. S., Beck P. A., Morgan M., Hubbell D., Butterbaugh J. y Rudolph B. 2010. Effect of dried distillers grains supplementation on calves grazing bermudagrass pasture or fed low-quality hay. *The Professional Animal Scientist* 26 (2010):347–355.
- Galyean, M.L. y Defoor, P.J. 2003. Effects of roughage source and level on intake by feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 81: 8_16.
- GBEP, 2007. A review of the current state of bioenergy development in G8 + 5 countries. Global Bioenergy Partnership (GBEP).
- Gibb, D.J., Hao, X., McAllister, T.A. 2008. Effect of dried distillers' grains from wheat on the diet digestibility and performance of feedlot cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 88, 659–665.
- Gill, R., Van Overbeke, D, Depenbusch, B., Drouillard, J, DiCostanzo, A., 2008. Impact of beef cattle diets containing corn or sorghum distillers grains on beef color, fatty acid profiles, and sensory attributes. *J. Anim. Sci.* 86: 923–935.
- Gordon C.M., Drouillard JS, Phebus RK, Hachmeister KA, Dikeman ME, Higgins JJ, y Reicks AL. 2002. The effect of Dakota Gold_-brand dried distiller's grains with solubles of varying levels on sensory and color characteristics of ribeye steaks. Pages 72–74 in *Cattlemen's Day Report of Progress* 890. Kansas State University.
- Greenquist, M. A., T. J. Klopfenstein, W. H. Schacht, G. E. Erickson, K. J. Vander Pol, M. K. Luebke, K. R. Brink, A. K. Schwarz, y L. B. Baleseng. 2009. Effects of nitrogen fertilization and dried distillers grains supplementation: Forage use and performance of yearling steers. *J. Anim. Sci.* 87:3639–3646.
- Griffin W. A., Bremer V. R., Klopfenstein T. J., Stalker L. A., Lomas L. W., Moyer J. L., y Erickson G. E. 2012. A meta-analysis evaluation of supplementing dried distillers grains plus solubles to cattle consuming forage-based diets. *The Professional Animal Scientist* 28 (2012):306–312.
- Gustad, K.H., T.J. Klopfenstein, G.E. Erickson, K.J. Vander Pol, J.C. MacDonald, and M.A. Greenquist. 2006. Dried distillers grains supplementation of calves grazing corn residue. 2006 Nebraska Beef Report. University of Nebraska-Lincoln Extension.
- Gutierrez-Ornelas, E., and T. J. Klopfenstein. 1991. Changes in availability and nutritive value of different corn residue parts as affected by early and late grazing seasons. *J. Anim. Sci.* 69:1741–1750.

- Ham, G.A., R.A. Stock, T.J. Klopfenstein, E.M. Larson, D.H. Shain, and R.P. Huffman. 1994. Wet corn distillers byproducts compared with dried corn distillers grains with solubles as a source of protein and energy for ruminants. *J. Anim. Sci.* 72:3246-3257.
- Ham, G. A., R. A. Stock, T. J. Klopfenstein, and R. P. Huffman. 1995. Determining the net energy value of wet and dry corn gluten feed in beef growing and finishing diets. *J. Anim. Sci.* 73:353-359.
- Ham G A, Stock R A, Klopfenstein T J, Larson E M, Shain D H y Huffman R P Hess, B.W. Moss, G.E., Rule, D.C. 2008. A decade of development in the area of fat supplementation research with beef cattle and sheep. *J. Anim. Sci.* 86: E188-E204.
- Harris, H. L., A. S. Cupp, A. J. Roberts, and R. N. Funston. 2008. Utilization of soybeans or corn milling co-products in beef heifer development diets. *J. Anim. Sci.* 86:476-482.
- Hess, B.W., Moss, G.E. and Rule, D.C. 2008. A decade of developments in the area of fat supplementation research with beef cattle and sheep. *Journal of Animal Science.* 86: E188-E204.
- Horn, G.W.; Cravey, M.D.; Mc Collum, F.T.; Strasia, C.A.; Krenzer, E.G.; Claypool, P.L. 1995. Influence of high-starch vs high-fiber energy supplements on performance of stocker cattle grazing wheat pasture and subsequent feedlot performance. *J. Anim. Sci.* 73: pp. 45-54.
- IEA, 2004. [Biofuels for transport](#) (1.4 MB). International Energy Agency.
- INTA PRECOP. 2012. Evolución del sistema agropecuario argentino. Ediciones INTA.
- Islas, A. y Soto-Navarro, S. 2011. Effect of supplementation of dried distillers grains with solubles on forage intake and characteristics of digestion of beef heifers grazing small-grain pasture. *J ANIM SCI*, 89:1229-1237.
- Jenkins K. H., MacDonald J. C., McCollum F. T. , y Amosson S. H. 2009. Effects of Level of Dried Distillers Grain Supplementation on Native Pasture and Subsequent Effects on Wheat Pasture Gains. *The Professional Animal Scientist* 2 5 (2009):596-604.
- Jordon, D. J., T. J. Klopfenstein, and C. T Milton. 2001. Wet corn gluten feed supplementation of calves grazing corn residue. *Nebraska Beef Cattle Rep.* MP 76-A:41.
- Kaiser M. 2006. Utilizando el creciente abasto de granos de destilería. Insituto Babcock. Universidad de Winsconsin. Disponible en: [http://babcock.wisc.edu/sites/default/files/documents/productdownload/du_902.es .pdf](http://babcock.wisc.edu/sites/default/files/documents/productdownload/du_902.es_.pdf). 20/07/2013
- Kleinschmit D. H., Anderson J. L., Schingoethe D. J. Kalscheur K. F., y Hippen A. R.. 2007. Ruminant and Intestinal Degradability of Distillers Grains Plus Solubles Varies by Source. *J. Dairy Sci.* 90:2909-2918.

- Klopfenstein, T. 1996. Distillers grains as an energy source and effect of drying on protein availability. *Animal Feed Science Technology*. 60: 201-207.
- Klopfenstein, T. J., Erickson G. E., Bremer, V. R. 2008. BOARD-INVITED REVIEW: Use of distillers by-products in the beef cattle feeding industry. *J. Anim. Sci.* 86:1223-1231.
- Koger, T., Wulf, D., Weaver, A. Wright, C. Tjardes, K., Mateo, K, Engle, T., Maddock, R. y Smart, A. 2010. Influence of feeding various quantities of wet and dry distillers grains to finishing steers on carcass characteristics, meat quality, retail-case life of ground beef, and fatty acid profile of longissimus muscle. *J Anim Sci*, 88:3399-3408.
- Kononoff, P.J. and B. Janicek. 2005. [Understanding milling feed byproducts for dairy cattle](#). NebGuide G1586. Univ. of Nebraska-Lincoln Extension.
- Krehbiel, C., Stock, R., Herold, D., Shain, D., Ham, H. and Carulla, J. 1995. Feeding wet corn gluten feed to reduce subacute acidosis in cattle. *J Anim Sci*, 73:2931-2939.
- Kropf, D. H. 2003. Enhancing meat color stability. Pages 73–75 in Proc. 56th Recip. Meat Conf., Columbia, MO. Natl. Livest. Meat Board, Chicago, IL.
- Lammoglia, M.A., Bellows RA, Grings EE, Bergman JW, Short RE, y MacNeil MD. 1997. Effects of dietary fat composition and content, breed and calf sex on birth weight, dystocia, calf vigor and postpartum reproduction of first calf beef heifers. *Proc. Western Section, Am. Soc. Anim. Sci.* 48:81–84.
- Lan Y., Opapeju F.O. y Nyachoti C.M. 2008. *Anim. Feed Sci. Technol.* 140, 155-163
- Larson, E.M., R.A. Stock, T.J. Klopfenstein, M.H. Sindt and R.P. Huffman. 1993. Feeding value of wet distillers byproducts from finishing ruminants. *J. Anim. Sci.* 71:2228.
- Larson, E.D. 2008. Biofuel production technologies: status, prospects and implications for trade and development (756 KB). United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD).
- Lawrie, R. A. 1998. *Lawry's Meat Science*. 6th ed. Wood head Pub. Limited, Cambridge, UK.
- Leupp, J.L., Lardy, G.P., Caton, J.S., 2008. Effects of supplying increasing levels of distillers dried grain with solubles in growing diets on intake, digestion and ruminal fermentation. In: 2007 Beef Cattle and Range Research Report. North Dakota State University, Fargo, ND, USA, pp. 24–27
- Leupp, J., Lardy, G., Karges, K., Gibson, M. and Caton., J. 2009. Effects of increasing levels of corn distillers dried grains with solubles to steers offered moderate-quality forage. *J Anim Sci* 87:4064-4072.
- Li Y. L., McAllister T. A., Beauchemin K. A., He M. L., McKinnon J. J. y Yang W. Z. 2011. Substitution of wheat dried distillers grains with solubles for barley grain or barley

- silage in feedlot cattle diets: Intake, digestibility, and ruminal fermentation. *J Anim Sci* 89:2491-2501.
- Li, C, Li, J, Yang, W y Beauchemin, K. 2012. Ruminal and intestinal amino acid diegestion of distiller's grain vary with grain source and milling process. *Animal Feed Science and technology*. 175: 121-130.
- Liu C., Schingoethe D.J., Stegeman G.A. 2000. Corn distillers grains versus a blend of protein supplements with or without ruminally protected amino acids for lactating cows. *J. Dairy Sci.* 83:2075-2084.
- Lodge, S. L., Stock RA, Klopfenstein TJ, Shain DH, y Herold DW. 1997. Evaluation of wet distillers composite for finishing ruminants. *J. Anim. Sci.* 75:44–50.
- Loy, T. W., T. J. Klopfenstein, G. E. Erickson, C. N. Macken y J. C. MacDonald. 2008. Effect of supplemental energy source and frequency on growing calf performance. *J. Anim. Sci.* 86:3504–3510.
- Loza, P., Buckner, C., Vander Pol, K., Erickson, G., Klopfenstein, T. y Stock, R. 2010. Effect of feeding combinations of wet distillers grains and wet corn gluten feed to feedlot cattle. *J Anim Sci* 2010, 88:1061-1072.
- MacDonald, J. C., and T. J. Klopfenstein. 2004. Dried distillers grains as a grazed forage supplement. Pages 25–27 in Nebraska Beef Cattle Report. MP 80-A. Univ. Nebraska, Lincoln.
- MacDonald, J. C., T. J. Klopfenstein, G. E. Erickson, and W. A.Griffin. 2007. Effects of dried distillers grains and equivalent undegradable intake protein or ether extract on performance and forage intake of heifers grazing smooth bromegrass pastures. *J. Anim. Sci.* 85:2614–2624.
- Martin, J. L., A. S. Cupp, R. J. Rasby, Z. C. Hall, and R. N. Funston. 2007. Utilization of dried distillers grains for developing beef heifers. *J. Anim. Sci.* 85:2298–2303.
- Martínez-Pérez M. F., Calderón-Mendoza D., Islas A., Encinias A. M., Loya-Olguín F. y Soto-Navarro S. A. 2013. Effect of corn dry distiller grains plus solubles supplementation level on performance and digestion characteristics of steers grazing native range during forage growing season. *J ANIM SCI* 2013, 91:1350-1361.
- McKinnon, J.J., Walker, A.M., 2008. Comparison of wheat-based dried distillers' grains with solubles to barley as an energy source for backgrounding cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 88, 721–724.
- Meyer U, Schwabe A, Dänicke S, Flachowsky G. 2010. Effects of by-products from biofuel production on the performance of growing fattening bulls. *Animal Feed Science and Technology*. 161: 132-139.

- Morris, S. E., T. J. Klopfenstein, D. C. Adams, G. E. Erickson, and K. J. VanderPol. 2005. The effects of dried distillers grains on heifers consuming low or high quality forage. Pages 18–20 in Nebraska Beef Cattle Report. MP 83-A. Univ. Nebraska, Lincoln.
- Muñoz, L y Hilbert JA. 2012. Biocombustibles: El avance de la certificación de sustentabilidad en la Argentina. Informes Técnicos de Bioenergía. Ediciones INTA. Año 1, N°2.
- Mustafa, A, McKinnon, J, Ingledew, M, y Christensen, D. 2000. The nutritive value for ruminants of thin stillage and distillers' grains derived from wheat, rye, triticale and barley. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 607–613.
- OECD-FAO, 2008. OECD-FAO Agricultural Outlook 2008-2017. Disponible: <http://www.oecd.org/trade/agricultural-trade/40715381.pdf>. 25/02/2012.
- Ojowi M., McKinnon J. J., Mustafa A., y Christensen D. A. 1997. Evaluation of wheat-based wet distillers' grains for feedlot cattle. *Can. J. Anim. Sci.* **77**: 447–454.
- Oliveros, B., F. Goedecken, E. Hawkins, and T. Klopfenstein. 1987. Dry or wet corn bran or corn gluten feed for ruminants. Nebraska. Beef Cattle Report, Univ. of Nebraska, Lincoln. pp 14–16.
- Patterson, H.H., Adams DC, Klopfenstein TJ, Clark RT, y Teichert B. 2003. Supplementation to meet the metabolizable protein requirements of primiparous beef heifers: II. Pregnancy and economics. *J. Anim. Sci.* 81:563–570.
- Philippeau, C., Martin, C., & Michalet-Doreau, B. (1999). Influence of grain source on ruminal characteristics and rate, site, and extent of digestion in beef steers. *Journal of Animal Science*, 77, 1587–1596.
- Phillips W A, Horn G W y Smith M E. 1995. Effect of protein supplementation on forage intake and nitrogen balance of lambs fed freshly harvested wheat forage. *J Anim Sci* 1995, 73:2687-2693.
- Rausch, K.D., Belyea, R.L., Ellersieck, M.R., Singh, V., Johnston, D.B., Tumbleson, M.E., 2005. Particle size distributions of ground corn and DDGS from dry grind processing. *Am. Soc. Agric. Eng.* 48, 273–277.
- Reed, J. J., G. P. Lardy, M. L. Bauer, M. Gibson, and J. S. Caton. 2006. Effects of season and inclusion of corn distiller's dried grains with solubles in creep feed on intake, microbial protein synthesis and efficiency, ruminal fermentation, digestion, and performance of nursing calves. *J. Anim. Sci.* 84:2200-2212.
- Reinhardt, C., DiCostanzo, A., and Milliken, G. 2007. Distiller's by-products alter carcass fat distribution of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 85(Suppl. 2):132. (Abstr.)

- Roberson K.D., Kalbfleisch J.L., Pan W., Charbenau R.A., 2005. Effect of corn distillers dried grains with solubles at various levels on performance of laying hens and egg yolk color. *Int. J. Poultry Sci.* 4, 44-51
- Robinson, P, Karges, K y Gibson, M. 2008. Nutritional evaluation of four co-product feedstuffs from the motor fuel ethanol distillations industry in the Midwestern USA. *Animal Feed Science and Technology.* 146: 345-352.
- Roeber, D. L., R. K. Gill, and A. DiCostanzo. 2005. Meat quality responses to feeding distiller's grains to finishing Holstein steers. *J. Anim. Sci.* 83:2455–2460.
- Schingoethe D J., Stegeman G A Treacher RJ. 1999. Response of Lactating Dairy Cows to a Cellulase and Xylanase Enzyme Mixture Applied to Forages at the Time of Feeding. *J Dairy Sci.* Vol 80: 996–1003.
- Schingoethe, D. J. (2006). Utilization of DDGS by cattle. In *Proceedings 27th western nutrition conference, 19–20 September 2006, Winnipeg, MB, Canada* (pp. 61–74).
- Schingoethe, D.J., 2007. Strategies, benefits, and challenges of feeding ethanol byproducts to dairy and beef cattle. In: *Proc. Florida Ruminant Nutrition Symposium, Gainesville, FL, Univ. Florida, Gainesville, FL, USA.*
- Scott,S., Mbifo,R., Chiquette,J., Savoie,P., Turcotte, G. 2011. Rumen disappearance kinetics and chemical characterization of by-products from cellulosic ethanol production. *Animal Feed Science and Technology* 165: 151–160.
- Segers J. R., Stelzleni A. M., Pringle T. D., Froetschel M. A., Ross C. L. y Stewart R. L., Jr. 2013. Use of corn gluten feed and dried distillers grains plus solubles as a replacement for soybean meal and corn for supplementation in a corn silage-based stocker system. *J Anim Sci* 2013, 91:950-956.
- Sharma, V., Rausch, K.D., Tumbleson, M.E., Singh, V., 2007. Comparison between granular starch hydrolyzing enzyme and conventional enzymes for ethanol production from maize starch with different amylase:amylopectin ratios. *Starch/Starke* 59, 549–556.
- Shurson, J., Spiels, M., Whitney, M., Baidoo, S., Johnston, L., Shanks, B., Wulf, D., 2001. The value of distillers dried grains with solubles in swine diets. In: *Mn. Nutr. Conf. Mn. Corn Growers Assoc. Tech. Sympos., Bloomington, MN.*
- Singh, V., Graeber, J.V., 2005. Effect of corn hybrid variability and planting location on dry grind ethanol production. *Am. Soc. Agric. Eng.* 48, 709–714.
- Spiels, M. J., M. H. Whitney, and G. C. Shurson. 2002. Nutrient database for distillers dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. *J. Anim. Sci.* 80:2639–2645.

- Stein, H. H., C. Pedersen, M. L. Gibson, and M. G. Boersma. 2006. Amino acid and energy digestibility in ten samples of distillers dried grain with solubles by growing pigs. *J. Anim. Sci.* 84:853–860.
- Stein, H.H, H. 2007. Distillers dried grains with solubles (DDGS) in diets fed to swine.HHS-Swine Focus-001.
- Stein H. H. y Shurson G. C. 2009. Board-invited review: the use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. *J Anim SCI* 2009, 87:1292-1303.
- Stein, H. H. 2011. Ingredientes alimenticios alternativos: concentración energética y en nutrientes, digestibilidad y niveles recomendados de inclusión. XXVII curso de especialización FEDNA. Universidad de Illinois.
- Stock, R. A., J. M. Lewis, T. J. Klopfenstein, and C. T. Milton. 1999. Review of new information in the use of wet and dry milling food byproducts in feedlot diets. *J. Anim. Sci.* 77(Suppl. 1):247 (Abstr.).
- Theodorou, M.K., B.A. Williams, M.S. Dhanoa, A.B. McAllan, y J. France. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 48:185-198.
- Trenkle, A., 1997a. Evaluation of wet distillers grains in finishing diets for yearling steers. Beef Research Report - Iowa State Univ. ASRI 450.
- Trenkle, A.1997b. Substituting wet distillers grains or condensed solubles for corn grain in finishing diets for yearling heifers. Beef Research Report - Iowa State Univ. ASRI 451.
- Urriola P. E., Shurson G. C. y Stein H. H. 2009. Digestibility of dietary fiber in distillers coproducts fed to growing pigs. *J Anim SCI.* 88:2373-2381.
- U.S. Grain Council. 2012. A guide to Distiller’s Dried Grains with Solubles (DDGS). Primera edición. Disponible en:
http://www.ddgs.umn.edu/prod/groups/cfans/@pub/@cfans/@ansci/documents/asset/cfans_asset_417244.pdf. 25/04/2013
- UNCSD, 2007. Small-scale production and use of liquid biofuels in Sub-Saharan Africa: Perspectives for sustainable development (1.4 MB). Background document to 15th session of the UN Commission on Sustainable Development, 30 April to 11 May 2007, New York, United States.
- USDOE. 2006. Breaking the biological barriers to cellulosic ethanol: A joint research agenda. Summary of the Biomass to Biofuels Workshop, held 7-9 December 2005, Rockville, United States, sponsored by the U.S. Department of Energy.

- Uwituze, S., Parsons, G., Schneider, C., Karges, K., Gibson, M. and Hollis, L. 2011a. Evaluation of sulfur content of dried distillers grains with solubles in finishing diets based on steam-flaked corn or dry-rolled corn. *J Anim Sci*, 89:2582-2591.
- Uwituze, S., Parsons, G., Karges, K., Gibson, M., Hollis, L., Higgins, J. and Drouillard, J. 2011b. Effects of distillers grains with high sulfur concentration on ruminal fermentation and digestibility of finishing diets. *J Anim Sci*, 89:2817-2828.
- Vander Pol, K. J., Erickson JE, Klopfenstein TJ, y Macken CN. 2004. Effect of wet and dry distillers grains plus soluble and supplemental fat level on performance of yearling finishing cattle. Pages 45–48 in *Neb. Beef Cattle Rep.*, Lincoln, NE. Univ. Nebraska, Lincoln.
- Vander Pol, K. J. G. Erickson, T. Klopfenstein, and M. Greenquist. 2005. Effect of level of wet distillers grains on feedlot performance of finishing cattle and energy value relative to corn [abstract 103]. *J. Anim. Sci.* 83(Suppl. 2):55.
- Vander Pol, K.J., Erickson, G.E., Klopfenstein, T.J., Greenquist, M.A., Robb, T., 2006. Effect of dietary inclusion of wet distillers grains on feedlot performance of finishing cattle and energy value relative to corn. *Nebraska Beef Cattle Rep.* MP88-A, 51–53.
- Vander Pol, K.J., Luebbe, M.K., Crawford, G.I., Erickson, G.E., Klopfenstein, T.J., 2009. Performance and digestibility characteristics of finishing diets containing distillers grains, composites of corn processing coproducts, or supplemental corn oil. *J. Anim. Sci.* 87: 639–652.
- Vanness, S. J., N. F. Meyer, T. J. Klopfenstein, and G. E. Erickson. 2009. Hydrogen sulfide gas levels post feeding. *Neb. Beef Cattle Rep.*, Univ. Nebraska, Lincoln
- Vasconcelos, J.T., Sawyer, J.E., Tedeschi, L.O., McCollum, F.T., Greene, L.W., 2009. Effects of different growing diets on performance, carcass characteristics, insulin sensitivity, and accretion of intramuscular and subcutaneous adipose tissue of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 87: 1540-1547.
- Walter L. Jaalhus, J. L., Robertson W. M., McAllister T. A., Gibb D. J., Dugan M. E. R., Aldai N., y McKinnon J. J. 2010. Evaluation of wheat or corn dried distillers' grains with solubles on performance and carcass characteristics of feedlot steers. *Can. J. Anim. Sci.* 90: 259_269.
- Widyaratne, G.P. y Zijlstra, R.T. 2007. Nutritional value of wheat and corn distiller's dried grain with soluble: digestibility and digestible contents of energy, amino acids and phosphorus, nutrient excretion and growth performance of grower-finisher pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, 87:103-114

- Wierenga, K., McAllister, T., Gibb, D., Chaves, A., Okine, E., Beauchemin, K., and Oba, M. 2010. Evaluation of triticale dried distillers grains with solubles as a substitute for barley grain and barley silage in feedlot finishing diets. *J Anim Sci* 88:3018-3029.
- Winterholler, S.J., C. P. McMurphy, G. L. Mourer, C. R. Krehbiel, G. W. Horn and D. L. Lalman. 2012. Supplementation of dried distillers grains with solubles to beef cows consuming low-quality forage during late gestation and early lactation. *J. Anim. Sci.* 90:2014-2025.
- Yang, A., M. Brewster J, Lanari MC, y Tume RK. 2002. Effect of vitamin E supplementation of α -tocopherol and β -carotene concentrations in tissues from pasture- and grainfed cattle. *Meat Sci.* 60:35–40.
- Zarrilli, S. 2008. Global perspective on production of biotechnology based bioenergy and major trends. Disponible: <http://www.fao.org/biotech/docs/zarrilli.pdf>. 25/02/2012.
- Zinn, R. A. and Jorquera, A. P. 2007. Feed value of supplemental fats used in feedlot cattle diets. *Vet. Clin. Food Anim.* 23: 247268.