

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE INVESTIGACION DE CIENCIAS VETERINARIAS



**VALORACION NUTRIMENTAL DE LOS GRANOS SECOS DE DESTILERIA
CON SOLUBLES (DDGS) UTILIZADOS EN SUSTITUCIÓN DEL MAÍZ EN
DIETAS DE FINALIZACION PARA CORDEROS: DIGESTION DE
NUTRIENTES Y FUNCION RUMINAL**

TESIS

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS VETERINARIAS**

PRESENTA:

I.A.Z. JORGE SANTIAGO GARZON PROAÑO

DIRECTOR DE TESIS

DR. ALEJANDRO PLASCENCIA JORQUERA

ASESORES

MC MARÍA ALEJANDRA LÓPEZ SOTO

DR. ALBERTO BARRERAS SERRANO

DR. VÍCTOR MANUEL GONZÁLEZ VIZCARRA

MEXICALI, B. C., MÉXICO

AGOSTO DE 2012

Valoración nutrimental de los granos secos de destilería con solubles (DDGS) utilizados en sustitución del maíz en dietas de finalización para corderos: digestión de nutrientes y función ruminal. Tesis presentada por Jorge Santiago Garzón Proaño, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias Veterinarias, que ha sido aprobada por el comité particular indicado:

Dr. Alejandro Plascencia Jorquera
Director de Tesis

MC Alejandra López Soto
Asesor

Dr. Alberto Barreras Serrano
Asesor

Dr. Víctor Manuel González Vizcarra
Asesor

CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE CUADROS	i
LISTA DE FIGURAS	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
HIPOTESIS	v
OBJETIVO	vi
REVISION DE LITERATURA	1
Proceso de producción de Etanol y Granos Secos de Destilería con Solubles (DDGS)	3
<i>Reducción del tamaño de partícula del grano</i>	3
<i>Cocción y Licuefacción</i>	5
<i>Fermentación</i>	6
<i>Destilación de etanol</i>	7
<i>Subproductos de la destilación</i>	8
Composición nutricional de los DDGS	9
Variabilidad en el contenido de nutrientes de los DDGS	11
<i>Contenido de nutrientes del grano</i>	11
<i>Relación de mezcla de solubles añadidos</i>	11
<i>Temperatura de secado</i>	12
Características físicas y químicas de los DDGS	12
<i>Color</i>	12

<i>Olor</i>	13
<i>Tamaño de partícula</i>	13
<i>Densidad de masa</i>	13
<i>pH</i>	13
Uso de DDGS en dietas para rumiantes	14
Efecto de los DDGS sobre el comportamiento productivo	16
<i>Peso final</i>	16
<i>Ganancia Diaria de Peso (GDP)</i>	19
<i>Eficiencia Alimenticia</i>	19
<i>ENg calculada de la dieta</i>	20
Efecto de los DDGS sobre la Ingestión de nutrientes	20
<i>Materia Seca</i>	24
<i>Materia Orgánica</i>	24
<i>Proteína Cruda</i>	25
<i>Fibras</i>	25
<i>Extracto Etéreo</i>	26
<i>Almidón</i>	27
Efecto de los DDGS sobre el pH y la producción de Ácidos Grasos Volátiles (AGV's)	27
<i>pH Ruminal</i>	27
<i>Ácidos Grasos Volátiles (AGV's)</i>	30
<i>Acetato</i>	30
<i>Propionato</i>	31
<i>Butirato</i>	31

<i>Tasa Acetato:Propionato (A:P)</i>	32
Efecto de los DDGS sobre la digestibilidad de nutrientes	32
<i>Materia Seca</i>	32
<i>Materia Orgánica</i>	36
<i>Proteína Cruda</i>	36
<i>Fibras</i>	36
<i>Extracto Etéreo</i>	37
<i>Almidón</i>	37
<i>Nitrógeno</i>	37
CONCLUSIONES	39
LITERATURA CITADA	40
EXPERIMENTO I	47
Abstract	48
Introduction	49
Materials and Methods	50
Results and Discussions	53
Conclusions	58
References	58

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Pág.
1 Contenido nutricional de los granos secos de destilería con solubles	10
2 Efecto de los DDGS sobre el comportamiento productivo	17
3 Efecto de los DDGS sobre la ingestión de nutrientes	21
4 Efecto de los DDGS sobre el pH y producción de AGV's	28
5 Efecto de los DDGS sobre la digestibilidad de nutrientes	33

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
1 Proceso de producción de etanol y subproductos de destilería	4

RESUMEN

Cuatro ovinos machos enteros (25.9 ± 2.9 kg) con cánulas en rumen y duodeno proximal fueron utilizados en un diseño de Cuadrado latino 4x4 para evaluar el efecto del nivel de suplementación (0,10, 20 y 30%, Base MS) de los granos secos de destilería con solubles (DDGS) en reemplazo del maíz quebrado en dietas de finalización sobre las características de función digestiva. El pH ruminal promedio fue 6.20 ± 0.29 , y no fue afectado ($P \geq 0.15$) por los tratamientos. Reemplazando el maíz quebrado con DDGS se incremento de forma lineal ($P < 0.01$) el flujo de FDN y lípidos al intestino delgado. La sustitución de maíz quebrado con DDGS no afecto el flujo de NM ($P \geq 0.56$) al intestino delgado, pero incremento (efecto lineal, $P < 0.01$) el flujo de N del alimento. La proporción de proteína no degradable en rumen en los DDGS promedió 46%. A nivel ruminal, el reemplazo de DDGS por maíz, incremento la digestión de FDN (efecto cuadrático, $P = 0.01$), disminuyo la digestión de MO (efecto lineal, $P = 0.01$) pero sin efectos ($P \geq 0.45$) sobre la eficiencia de NM o de N. La digestión postruminal de MO, almidón, N y lípidos no fueron afectados por el nivel de DDGS, pero se observo una compensación en la digestión postruminal de FDN (efecto cuadrático, $P < 0.01$) siendo máxima al 30% de sustitución. La digestión de N en tracto total incremento (efecto lineal, $P = 0.02$) a medida que el nivel de DDGS incrementaba. El nivel de DDGS tendió (efecto lineal, $P = 0.06$) a incrementar la digestión de FDN en tracto total. Sin embargo, el nivel de sustitución tendió a reducir (efecto lineal, $P < 0.06$) la digestión de MO en tracto total y la digestibilidad de la EN (ED, %; $P = 0.08$). En conclusión, el reemplazo de DDGS hasta 30% por maíz quebrado, disminuyo la digestión de MO, y tendió a disminuir la digestión en tracto total de MO y energía digestible. Sin embargo, esto no afecto la ED (Mcal/Kg) de la dieta; reflejando el mayor contenido de energía neta de los DDGS versus el maíz quebrado en los reemplazos.

Palabras clave: Maíz, DDGS, digestión, ovinos, dietas de finalización

ABSTRACT

Four male intact lambs (25.9 ± 2.9 kg) with cannulas in the rumen and proximal duodenum were used in a 4×4 Latin square design experiment to evaluate the effect of level of dry distillers grain with solubles (DDGS) supplementation (0, 10, 20 and 30%, DM basis) replacing cracked corn in finishing diets on characteristics of digestive function. Ruminal pH averaged 6.20 ± 0.29 , and was not affected ($P \geq 0.15$) by treatments. Replacing cracked corn with DDGS increased linear ($P < 0.01$) the flow to small intestine of NDF and lipids. Substitution of cracked corn with DDGS did not affect flow to the small intestine of MN ($P \geq 0.56$), but increased (linear effect, $P < 0.01$) feed N flow. The average UIP value of DDGS was 46%. At ruminal level, the replacement of corn by DDGS, increased NDF digestion (quadratic effect, $P = 0.01$), decreased OM digestion (linear effect, $P = 0.01$) without effects ($P \geq 0.45$) on MN efficiency or N efficiency. Postruminal digestion of OM, starch, N and lipids were not affected by DDGS level, but a compensation of NDF postruminal digestion was observed (quadratic effect, $P < 0.01$) being maximal to 30% of substitution. Total tract digestion of N increase (linear, $P = 0.02$) as level of DDGS increases. DDGS level tended to increase (linear effect, $P = 0.06$) total tract NDF digestion. However, level of DDGS substitution tended to decreased (linear effect, $P < 0.06$) total tract OM digestion and the digestibility of GE (DE, %; $P = 0.08$). It is concluded that the replacement of cracked corn up to 30% by DDGS, decreased ruminal OM digestion, and tended to decrease total tract digestion of OM and digestible energy. However, it did not affect dietary DE (Mcal/kg); reflecting the greater gross energy content of DDGS versus cracked corn in the replacements.

Key words: Corn, DDGS, digestion, lambs, finishing diets

HIPÓTESIS

En dietas de finalización para corderos, el reemplazo del maíz quebrado por cantidades crecientes de DDGS no afecta tasa, sitio de digestión ni energía digestible de la dieta.

OBJETIVO

Determinar el valor nutrimental comparativo de los granos secos de destilería con solubles (DDGS) en sustitución del maíz utilizado en diferentes niveles en dietas de finalización para ovinos de pelo en corral: Digestión de nutrientes y función ruminal.

REVISIÓN DE LITERATURA

El agotamiento de combustibles fósiles necesario para el desarrollo de nuestras sociedades ha provocado el uso de biocombustibles como el Etanol. La producción mundial de etanol ha crecido rápidamente, donde Estados Unidos es principal productor, en el 2011 alcanzo una producción de 13.900 millones de galones. (Renewable Fuels Association, 2012).

A finales del 1990 se logro identificar un subproducto del proceso de obtención de etanol conocido como granos secos de destilería con solubles (DDGS), que se obtienen mediante el secado de los residuos de la fermentación del almidón de este proceso. Por lo tanto, en el producto final se reduce drásticamente el contenido en carbohidratos no estructurales, especialmente el almidón y se concentra proporcionalmente el resto de nutrientes (proteínas, fibras y grasas). (Applegate et al. 2008).

Actualmente se utilizan como una importante alternativa alimenticia por su alto valor nutritivo, su disponibilidad en el mercado y además por ofrecer una oportunidad para ahorrar costos en comparación con los granos tradicionales utilizados en la alimentación animal. En la mayor parte de los procesos se utilizan ingredientes ricos en almidón como maíz, trigo, sorgo y cebada. (Budny y Sotero, 2007).

El maíz es la principal materia prima para la producción de etanol de molienda seca en Estados Unidos, cada 25.4 kg de maíz producen 11.8 L (2.7 galones) de etanol y 7.7 kg (18 libras) de DDGS. (Renewable Fuels Association, 2009).

México actualmente es el mayor importador de DDGS de Estados Unidos, en el 2007 importó 700,000 tm y en el 2008 casi 1.200,000 tm. De acuerdo con el Consejo de Granos de Estados Unidos, México no ha alcanzado la máxima utilización de este subproducto y en el futuro tiene el potencial de importar 4 millones de tm. (US Grains Council, 2009).

Investigaciones realizadas por la Universidad de Minnesota han demostrado que los DDGS de Nueva Generación de color dorado producidos en plantas modernas de etanol son más altos en Energía Digestible y Metabolizable que los DDGS de vieja generación. Los DDGS contienen una cantidad importante de fibra cruda (7- 8%), una alta cantidad de grasa cruda (9 a 10%) que se traduce en que los DDGS contengan un valor energético (ED, 3965 Kcal/kg, EM, 3592 Kcal/kg) más o menos igual a la encontrada en el maíz (ED, 3961 Kcal/kg, EM, 3843 Kcal/kg) en base a MS. (Berger y Singh, 2009).

La mayor ventaja nutricional de los DDGS es su alto contenido de fósforo disponible, ya que se conoce muy bien que el maíz es relativamente bajo en fósforo (0,28%) y en su disponibilidad (14%). Sin embargo, el contenido

de fósforo de los DDGS de nueva generación es de 0,89% y su disponibilidad es mayor al 90% después de que el maíz ha pasado por el proceso de fermentación. (Berger y Singh, 2009).

Proceso de producción de Etanol y Granos Secos de Destilería con Solubles

El proceso de extracción de etanol se concentra en 5 pasos fundamentales, que además son claves para la obtención de granos secos de destilería con solubles (DDGS), los cuales se describen a continuación y se esquematizan en la figura 1.

Reducción del tamaño de partícula del grano: El paso inicial es reducir el tamaño del maíz o el grano utilizado, por medio de un molino en donde el grano se rompe con martillos en rotación a alta velocidad. La fineza del molido está determinada principalmente por el volumen del rotor, la velocidad de la punta del martillo, el número de martillos y el tamaño de la abertura de la malla. (Dupin et al., 1997).

Las mallas que se usan normalmente están en un intervalo de 1/8 a 3/16 pulgadas de diámetro. El tamaño de partícula del grano puede afectar el rendimiento de etanol, y por lo tanto, tienden a usar grano molido muy fino para maximizar el rendimiento. Es decir se puede producir un extra de 0.85 litros (0.20 galones) de etanol si el grano se muele para que pase por una malla de 3/16, en comparación con una de 5/16 pulgadas. (Kelsall y Lyons, 1999).

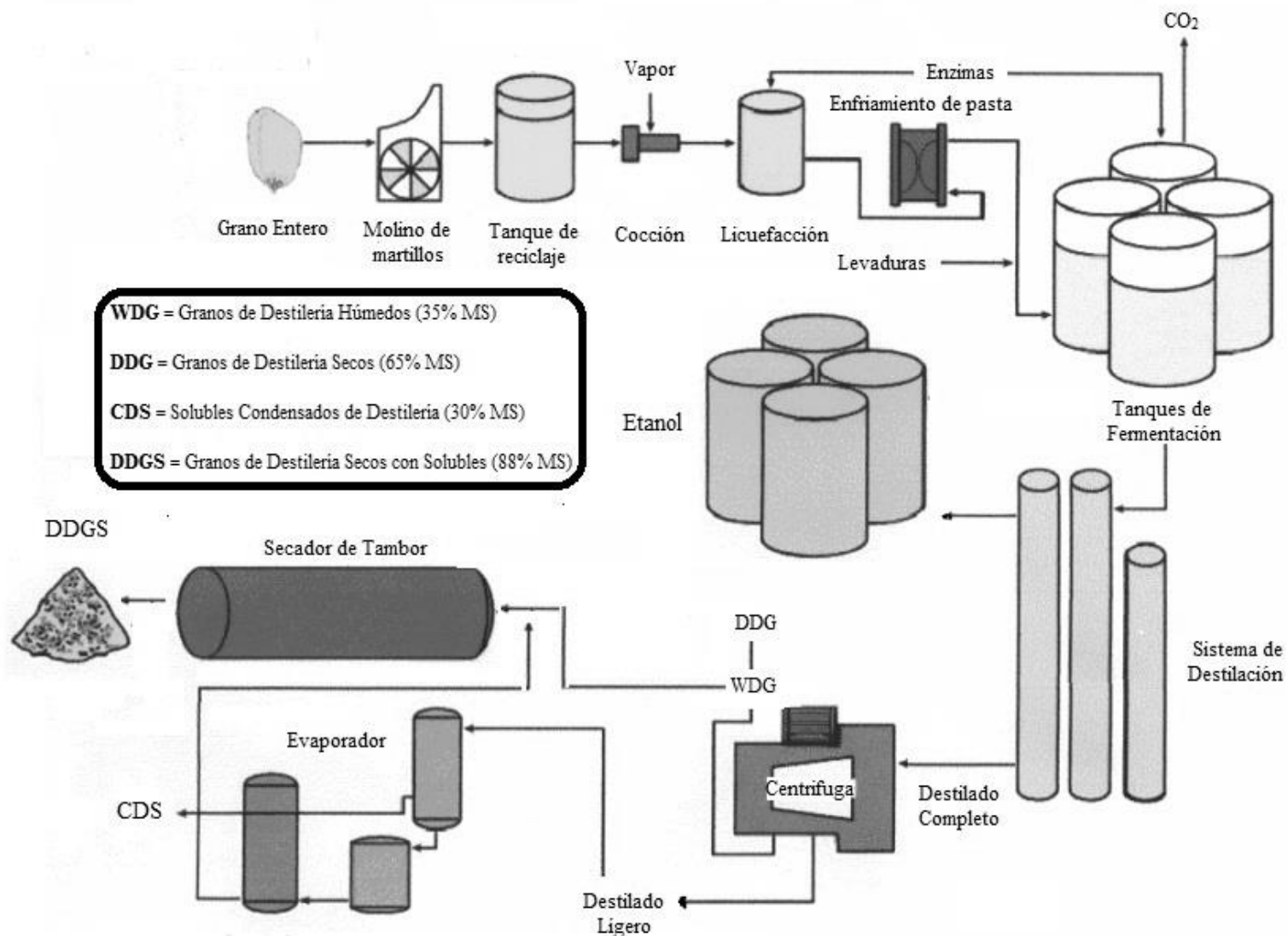


Figura 1: Proceso de producción de etanol y subproductos de destilería

Cocción y Licuefacción: El agua y el destilado reciclado se añaden al grano molido que actúan como acondicionadores para empezar la extracción de la proteína soluble, los azúcares y los lípidos ligados no almidonosos. (Chen et al. 1999). La mezcla se cocina para hidrolizar el almidón y convertirlo a glucosa junto con las enzimas amilolíticas, para que las levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) conviertan la glucosa a etanol. Las temperaturas que se usa durante el proceso de cocción son de 40° - 60°C en el tanque de premezcla, 90° - 165°C para la cocción y 60°C para la licuación. (Kelsall y Lyons, 1999).

La gelatinización del almidón comienza entre los 50° - 70°C. Un paso crítico en la conversión del almidón a la glucosa involucra la terminación de la gelatinización del almidón (Lin y Tanaka, 2003). Durante la gelatinización, se extrae casi toda la amilosa de los gránulos de almidón (Han y Hamaker, 2001), lo que incrementa la viscosidad debido a los gránulos hinchados y geles que consisten de amilosa solubilizada. (Hermansson y Kidman, 1995).

La hidrólisis completa del almidón requiere de una combinación de enzimas. Las amilasas son las más ampliamente usadas en la industria del almidón, estas incluyen la α -amilasas o glucoamilasas (Sarıkaya et al., 2000). Las enzimas deben ser termoestables para que haya hidrólisis del almidón inmediatamente después de la gelatinización. Las enzimas representan del 10 al 20% del costo de producción del etanol (Gregg et al., 1998).

En el proceso de cocción la harina del grano, el agua y el destilado reciclado se añaden en un tanque de premezcla. La temperatura del cocedor se fija a 120°C, luego de la cocción la masa pasa a una cámara instantánea para la licuación con una temperatura entre 80° - 90° C. La amilasa tolerante a las altas temperaturas se añade a razón de 0.05 a 0.08% para que suceda la licuación. El tiempo de retención en la cámara de licuación es de 30 minutos. El pH del sistema se mantiene entre 6.0 - 6.5. (Kelsall y Lyons, 1999).

Fermentación: El paso inicial es la pre fermentación de la masa que tiene como objetivo lograr el número deseado de levaduras para la fermentación, proceso que implica la agitación durante 10-12 horas para lograr de 300 a 500 millones de levaduras/ml. La levadura que comúnmente se usa es la *Saccharomyces cerevisiae* porque puede producir etanol a una concentración de hasta 18% en el caldo de fermentación, además de estar reconocida como segura (GRAS, por sus siglas en inglés) como aditivo para alimentos de consumo humano (Lin y Tanaka, 2006). La levadura representa aprox. el 10% del costo de producción del etanol (Wingren et al., 2003).

Después de alcanzar el número deseado de levaduras se da paso a la fermentación que es el proceso en el que la levadura convierte los azúcares en alcohol, que se desarrolla a una temperatura de 33° C, un pH alrededor de 4.0, y una duración entre 48 y 72 horas (Ingledew, 1998). En la fermentación, alrededor de 95% de la azúcar se convierte a etanol y CO₂ (que se puede

recolectar o liberar al aire), 1% en materia celular de las levaduras y 4% en otros productos como el glicerol.

El control del crecimiento normal de las levaduras es un factor importante en la producción eficiente del etanol, debido a que la actividad de las levaduras es altamente dependiente de la temperatura del sistema de fermentación (Thomas et al., 1996). Según Torija et al. (2003), la temperatura óptima de reproducción y fermentación de la levadura es de 28° y 32°C, respectivamente. La eficiencia de fermentación de *S. cerevisiae* a altas temperaturas (arriba de 35°C) es baja. Por lo tanto, se requiere de un sistema de enfriamiento en los sistemas de fermentación (Banat et al., 1998).

En el manejo de fermentadores se debe prevenir la contaminación con otros microbios ya que causa la reducción en el rendimiento de etanol y productividad de la planta. Los organismos más relacionados con la contaminación son los lactobacilos y levaduras silvestres *Dekkera* y *Brettanomyces*. Estos microbios compiten con el *Saccharomyces cerevisiae* por nutrientes (minerales traza, vitaminas, glucosa y aminonitrógeno libre) y produce productos finales inhibitorios como el ácido acético o al ácido láctico. (Abbott e Ingledew, 2005).

Destilación de etanol: Después de la fermentación, el etanol se recolecta en columnas de destilación. El etanol recolectado de los fermentadores se contamina con agua y se purifica mediante un sistema de tamices moleculares para producir etanol puro (Erickson et al., 2005).

Subproductos de la destilación: El agua y los sólidos que quedan después de la destilación se conocen como destilado completo, que están constituidos por agua, fibra, proteína y grasa. Esta mezcla se centrifuga para separar los sólidos gruesos del líquido.

Los sólidos gruesos se conocen como Pasta Húmeda o Granos Húmedos de Destilería (WDG) que contiene alrededor de 35% de MS. La pasta húmeda se puede vender directamente para utilizarse en la alimentación animal o se puede secar para producir los Granos Secos de Destilería (DDG) que tiene aprox. 65% de MS. El líquido residual después de la centrifugación se llama destilado ligero, que pasa a través de un evaporador para eliminar la humedad adicional y cuyo subproducto resultante se llama Solubles Condensados de Destilería (CDS) que contienen aprox. 30% de MS. Los granos húmedos de destilería (WDG) se mezclan con los solubles condensados de destilería (CDS), secarse y producir los Granos Secos de Destilería con Solubles (DDGS), que contiene aprox. 90% de MS. (Erickson et al., 2005).

Composición Nutricional de los DDGS

Como se detalla en el cuadro 1, la composición nutricional (proteína, grasa, fibra y fosforo) de los DDGS es 2 a 3.5 veces más concentrada en comparación con el grano del cual fue producido.

La cantidad de Proteína de los DDGS es alta, alrededor del 30%, pero es pobre en lisina. El calor aplicado durante los procesos de fermentación, destilación y secado reduce la solubilidad de la proteína y aumentan su indegradabilidad. Sin embargo, la digestibilidad intestinal de sus aminoácidos, tanto para monogástricos como para rumiantes no es muy elevada, especialmente cuando las temperaturas en el proceso de secado superan los 100 °C durante varios minutos. De aquí, que el valor proteico sea superior en los productos húmedos que en los secos. (Wilson, 2003).

El contenido de grasa es alto (5 -10%) de carácter insaturado (56% de ácido linoleico). El proceso de hidrólisis y secado posterior al que se somete el producto original aumenta la concentración de ácidos grasos libres. Por ello, la acidez oleica es alta pero no indicativa de deterioro o enranciamiento. (Chhorn y Mediha, 2008).

Cuadro 1. Contenido nutricional de los granos secos de destilería con solubles (DDGS)

Nutrientes (%)	Maíz grano ¹	Rango DDGS	DDGS maíz ²	NRC ³	DDGS maíz ⁴	DDGS maíz ⁵	DDGS maíz ⁶
Materia seca	90.0	87.3 - 92.4	92.0	90.2	88.9	88 - 90	89.1
Proteína cruda	9.8	28.7 - 32.9	30.9	29.7	30.2	25 - 32	30.1
Grasa cruda	4.3	8.8 - 12.4	10.7	10.0	10.9	8 - 10	10.7
FDN	3.3	-	-	38.8	42.1	39 - 45	41.5
FDA	4.1	-	-	19.7	16.2	-	16.1
Fibra cruda	2.4	5.4 - 10.4	8.5	-	-	-	-
Cenizas	4.1	3.0 - 9.8	6.0	5.2	5.8	-	5.2
Fósforo	0.3	0.42 - 0.99	0.8	0.8	0.9	0.78 - 1.08	0.8
Azufre	-	-	-	0.4	0.5	-	0.4

1, 3 NRC (2000 y 2001)

2FEEDSTUFFS (2009)

4 Spiehs (2002)

5 Tjardes y Wright (2002)

6 Schingoethe (2004)

Además del maíz como principal materia prima para la producción de etanol y DDGS también se utilizan la cebada y el trigo, donde se incorpora toda la fibra del grano (10 - 12%). Por ello, su valor energético es menor pero su principal aplicación está en dietas para todo tipo de rumiantes en función de su alto contenido en fibra. (FEDNA 2003).

Variabilidad en el contenido de nutrientes de los DDGS

La composición nutricional de los DDGS varía de acuerdo con la fuente y calidad del grano utilizado durante la producción de etanol, además de las variaciones que pueden existir durante el proceso de obtención del biocombustible dentro de una misma planta o en plantas diferentes. (Whitney, 2004). Los tres factores más importantes que afectan la variabilidad en el contenido de nutrientes son:

Contenido de nutrientes del grano: Se debe a la variación normal entre las variedades de granos y a las ubicaciones geográficas en donde se cultivan.

Relación de mezcla de solubles añadidos: Los DDGS se producen al mezclar solubles condensados con granos húmedos de destilería (CDS + WDG). La definición oficial de los DDGS publicada por la Asociación de Oficiales Americanos de Control de Alimentos (AAFCO) requiere que se mezcle al menos el 75% de los sólidos en el destilado completo con la pasta húmeda. Las plantas de etanol pueden variar la cantidad de solubles en la

mezcla por arriba del 75% mínimo, sin embargo la variación de planta a planta en la relación de mezcla de los dos componentes de los DDGS va a afectar la composición de nutrientes. (Ergul et al., 2003).

Temperatura de secado: Es probable que mucha de la diferencia en la composición nutricional de los DDGS y su digestibilidad se deba al tiempo y temperatura de secado que se usa para producirlos. Las temperaturas de la secadora pueden estar entre 126.5° - 620.5°C (260° - 1150° F), dependiendo de la planta. (Stein et al., 2005).

Características físicas y químicas de los granos secos de destilería con solubles (DDGS)

Las características de los DDGS varían entre fuentes y puede influir sobre su valor alimenticio y características de manejo. Entre las principales características se incluye el color, olor, tamaño de partícula, densidad de masa y pH.

Color: Puede variar desde ligeramente dorado a marrón oscuro. Las diferencias se deben al color inicial del grano, la cantidad de solubles añadidos y el tiempo y temperatura de secado utilizados. Los DDGS de nueva generación son generalmente de un color dorado claro a un café claro. (Urriola et al., 2007).

Olor: Cromwell et al. (1993) comparo 9 fuentes diferentes de DDGS, en donde el olor tenía un rango que iba de un aroma dulce a ahumado y quemado, influenciado principalmente por su tiempo y temperatura de secado.

Tamaño de partícula: Es aproximadamente 700 μm , pero el rango de este parámetro es extremadamente grande: varía de 73 a 1.217 μm entre diversos orígenes, esto es muy importante dado que afectan la digestibilidad, la eficiencia en el mezclado, calidad del pellet, palatabilidad, densidad de masa e incidencia de úlceras gástricas (Pederson et al., 2005).

Densidad de masa: Es un factor importante que se considera cuando se determina el volumen de almacenamiento de los vehículos de transporte, barcos, contenedores, tambores y sacos. La densidad de masa afecta los costos de transporte y de almacenamiento. Los ingredientes con una densidad de masa baja tienen un mayor costo por unidad de peso, La densidad aparente varía entre 368 y 561 kg/m^3 entre los diferentes tipos de DDGS. (Pederson et al., 2005).

pH: El pH medio es de 4,1; pero puede estar entre 3,6 y 5,0 esta gran variabilidad se debe a la procedencia y procesos utilizados en las diferentes plantas de etanol. (Urriola et al., 2007).

Uso de DDGS en dietas para rumiantes

Los DDGS hoy en día representan una fuente de alimentación muy importante para los rumiantes debido a su alto contenido nutricional, su disponibilidad en el mercado y un precio competitivo en comparación con los granos tradicionales, basado en esto durante los últimos años se han realizado investigaciones para confirmar la eficiencia nutricional de los DDGS y su uso en dietas para bovinos y ovinos combinándose además con otros granos. (Schingoethe et al., 2004).

El uso de los DDGS toma dos funciones según el nivel de inclusión en la dieta. Leupp et al. (2009), reportaron que en niveles de 6 a 15% base MS, su objetivo es servir como fuente de proteína, por lo cual, cuando son incluidas en niveles superiores los DDGS se convierten en una fuente de energía en sustitución del maíz. (Klopfestein et al., 2008).

Usualmente los DDGS son utilizados como fuente de energía en dietas de finalización para bovinos (Erickson et al, 2006; May et al., 2009). Al comparar los DDGS con otros granos encontraron que el nivel de energía fue 120 a 150% superior en comparación con el maíz roado y de 100 a 110% mayor que el gluten de maíz, dependiendo de la calidad de este último (Erickson et al., 2006).

Considerando las respuestas observadas en bovinos alimentados con dietas de finalización en corral, Cuando se utilizan los DDGS como fuente de energía, Schingoethe et al. (2004), recomiendan niveles de inclusión del 10 al 40% base MS, estos resultados son comparables con investigaciones realizadas por Gunn et al. (2009), Klopfenstein et al. (2008), y May et al. (2009), en las que demuestran que la inclusión de hasta 35% de DDGS no es perjudicial para el rendimiento de los animales, sin embargo, observaron que la eficiencia alimenticia se maximiza entre el 20% y 25% de inclusión.

Los DDGS son una fuente muy buena de proteína para vacas lecheras, típicamente más del 30% MS, además de ser una buena fuente de proteína no degradable en el rumen (PNDR) o proteína de sobrepaso muy importante para el ganado. (Powers et al., 1995). Al respecto, Schingoethe et al. (2004) reportaron un valor de 55%, mientras que Erickson et al. (2006) reportan un valor del 50% de PNDR, los cuales se consideran aceptables.

Cyriac et al. (2005) señala que los DDGS se pueden incluir en las dietas para vacas lecheras hasta 20% de la ración sin disminuir el consumo de materia seca, producción de leche o el porcentaje de grasa y proteína lácteas. La inclusión de DDGS de 20 y 30% también sustentan la producción de leche igual o más que las dietas sin DDGS.

En ovinos en finalización existe poca documentación científica disponible que evalúe niveles máximos de inclusión de DDGS en las dietas. En un estudio realizado por Schauer et al. (2008) evaluaron el efecto de la alimentación con distintos niveles (0, 20, 40, y 60% base MS) de inclusión en dietas de finalización llegando a la conclusión de que los DDGS mantuvieron el rendimiento y no presentaron efectos negativos sobre las características de la canal.

Efecto de los DDGS sobre el comportamiento productivo

Numerosos estudios han sido conducidos utilizando granos de destilería como fuente de energía y proteína encontrando una mejora en el desempeño animal (Cuadro 2). Schauer et al. (2006) incorporando DDGS en niveles de hasta 15%, Hüls et al. (2006) sustituyendo hasta 23% y Zelinsky (2006) incluyendo hasta 17% base MS en dietas para ovinos en finalización no encontraron diferencias en el desempeño animal. Sin embargo, Schauer et al. (2006) reportaron un incremento en el rendimiento a medida que se incrementaba los niveles de DDGS hasta un 22,5% en la dieta.

Peso final (PF): En ovinos en finalización Félix et al. (2011a) reportaron un incremento de 8% (55.9 vs. 60.2 Kg) en el PF al incluir 20% de DDGS (base MS) en comparación con la dieta control (0% DDGS), sin embargo al incrementar los niveles de DDGS no encontraron diferencias al igual que Hüls et al. (2006) al incluir 23% de DDGS.

Cuadro 2: Efecto de los DDGS sobre el comportamiento productivo

Parámetro	Animal	Tipo de Dieta	Inclusión (%MS)	Control	DDGS	Referencia
Peso Final (Kg)	Vaquillas cruzadas (330 Kg)	Finalización	15	483 ^a	494 ^b	Depenbusch et al., 2009
	Ovinos machos (28.1 Kg)	Finalización	20	55.9 ^a	60.2 ^b	Félix et al., 2011
	Novillos Angus rojos (350Kg)	Finalización	30	570 ^a	587 ^b	Al Suwaiegh et al., 2002
	Ovinos hembras (24.5 Kg)	Finalización	30	56.3 ^a	58.6 ^b	Schauer et al. 2006
GDP (Kg)	Vaquillas cruzadas (330 Kg)	Finalización	15	0.99 ^a	1.08 ^b	Depenbusch et al., 2009
	Ovinos machos (28.1 Kg)	Crecimiento	20	0.32 ^a	0.36 ^b	Félix et al., 2011
	Novillos Angus rojos (350Kg)	Finalización	30	1.65 ^a	1.80 ^b	Al Suwaiegh et al., 2002
	Ovinos (31.7 Kg)	Finalización	60	0.26 ^a	0.28 ^b	Schauer et al. 2008
Conversión Alimenticia	Vaquillas cruzadas (330 Kg)	Finalización	15	0.134 ^a	0.138 ^b	Depenbusch et al., 2009
	Ovinos Machos (28.1Kg)	Crecimiento	20	0.216 ^a	0.232 ^b	Félix et al., 2011
	Novillos Angus rojos (350Kg)	Finalización	30	0.156 ^a	0.173 ^b	Al Suwaiegh et al., 2002

ENg Calculada de la dieta (Mcal/Kg)	Novillos Angus rojos (350Kg)	Finalización	30	1.28 ^a	1.43 ^b	Al Suwaiegh et al., 2002
	Novillos Cruzados (489 Kg)	Finalización	35	1.27 ^a	1.40 ^b	Yang et al., 2011
	Novillos Cruzados (392 Kg)	Finalización	40	1.24 ^a	1.35 ^b	Ham et al., 1994

a, b Literales diferentes entre columnas indican diferencia significativa ($P<.05$) entre tratamientos.

En bovinos en finalización Trejo et al. (2009) al incluir 40% de DDGS encontraron un incremento de 6% en comparación con dietas a base de maíz roado, esta afirmación es corroborada por Depenbusch et al. (2009) quienes obtuvieron una mejora de 2,3% cuando incluyeron 15% de DDGS en dietas para vaquillas en finalización.

Ganancia Diaria de Peso (GDP): Félix et al. (2011) encontraron un incremento de 13% en la GDP en al incluir 20% de DDGS en comparación con la dieta control, sin embargo al incluir niveles de 40 y 60% de DDGS encontró una reducción (4 y 5%, respectivamente) en la GDP en dietas de finalización para ovinos, al contrario que Schauer et al. (2008), quienes no encontraron ningún efecto al incluir hasta 60% DDGS en la dieta. En Bovinos Depenbusch et al. (2009) al incluir 15% de DDGS en la dieta encontró un incremento de 9% en comparación con la dieta control y este resultado concuerda con Trejo et al. (2009) quienes al incluir 40% de DDGS en dietas para novillos encontró un incremento de 17.5% en la GDP en comparación con la dieta control al igual que los resultados obtenidos por Al Suwaiegh et al., (2002) y Schauer et al. (2008).

Eficiencia Alimenticia: En bovinos en finalización Al Suwaiegh et al. (2002) al incluir 30% de DDGS encontraron un incremento de 11% de eficiencia en las dietas con este subproducto. Félix et al. (2011) reportaron un incremento de 7% al incluir 20% de DDGS en comparación con la dieta control,

sin embargo al incluir niveles de 40 y 60% DDGS encontraron una reducción (5 y 3%, respectivamente) en la eficiencia en dietas de finalización para ovinos. En otro experimento alimentando los mismos niveles de DDGS pero en dietas a base de cebada con 12.5% de heno de alfalfa como fuente de forraje, no se reporto ningún efecto de la inclusión de DDGS sobre la eficiencia alimenticia (Schauer et al., 2008).

ENg calculada de la dieta: La inclusión de DDGS en la dietas para bovinos ha incrementado el valor energético y Yang et al. (2011) al incluir 35% de DDGS encontraron un aumento de 10% en el valor de la ENg de la dieta que concuerda con lo obtenido por Walter et al. (2010) quien al incluir DDGS encontró un incremento cuadrático en la ENg al igual que Al Suwaiegh et al. (2002) que encontraron que al incluir 15% DDGS en dietas de finalización para novillos el valor energético fue 10% mayor en comparación con la dieta control.

Efecto de los DDGS sobre la Ingestión de nutrientes

Dadas las condiciones nutricionales de los DDGS, 2 a 3 veces más concentrado en su contenido de proteína, grasa y fibra, esto ha repercutido en un incremento en la ingestión de estos y otros nutrientes (Cuadro 3).

Cuadro 3: Efecto de los DDGS sobre la ingestión de nutrientes

Parámetro	Animal	Tipo de Dieta	Inclusión (%MS)	Control	DDGS	Referencia
Ingesta, Kg/d						
Materia Seca	Novillos Holstein (487 Kg)	Finalización	25	8.27 ^a	8.55 ^b	Uwituze et al., 2009
	Vaquillas Angus (455 Kg)	Finalización	25	8.93 ^a	9.46 ^b	Li et al., 2011
	Novillos Angus rojos (350Kg)	Finalización	30	10.70 ^a	11.10 ^b	Al Suwaiegh et al., 2002
	Ovinos Rambouillet (31.7 Kg)	Finalización	60	1.68 ^a	1.91 ^b	Schauer et al., 2008
Materia Orgánica						
Materia Orgánica	Novillos (550Kg)	Crecimiento	15	10.60 ^a	11.30 ^b	Leupp et al., 2009
	Vaquillas Hereford (420 Kg)	Finalización	20	9.20 ^a	9.40 ^b	Walter et al., 2011
	Vaquillas Angus (455 Kg)	Finalización	25	8.51 ^a	8.89 ^b	Li et al., 2011
	Novillos Holstein (487 Kg)	Finalización	25	8.15	8.29	Uwituze et al., 2009
Proteína Cruda						
Proteína Cruda	Novillos Holstein (487 Kg)	Finalización	25	1.30	1.36	Uwituze et al., 2009
	Novillos Cruzados (489 Kg)	Finalización	25	1.40 ^a	2.10 ^b	Yang et al., 2011

Fibra Detergente Neutra	Vaquillas Angus (455 Kg)	Finalización	25	1.08 ^a	2.01 ^b	Li et al., 2011
	Novillos (550Kg)	Crecimiento	15	3.59 ^a	4.39 ^b	Leupp et al., 2009
	Vaquillas Angus (455 Kg)	Finalización	25	1.75 ^a	2.13 ^b	Li et al., 2011
	Novillos Cruzados (489 Kg)	Finalización	25	2.60 ^a	2.90 ^b	Yang et al., 2011
	Ovinos Machos (28.1 Kg)	Crecimiento	60	0.20 ^a	0.32 ^b	Félix et al., 2011
Fibra Detergente Acida	Ovinos Machos (28.1 Kg)	Crecimiento	15	0.12 ^a	0.16 ^b	Félix et al., 2011
	Novillos (550Kg)	Crecimiento	15	1.76 ^a	2.18 ^b	Leupp et al., 2009
	Vaquillas Angus (455 Kg)	Finalización	25	0.76 ^a	1.03 ^b	Li et al., 2011
Extracto Etéreo	Novillos Holstein (487 Kg)	Finalización	25	0.29 ^a	0.42 ^b	Uwituze et al., 2009
	Vaquillas Angus (455 Kg)	Finalización	30	0.21 ^a	0.26 ^b	Li et al., 2011
	Ovinos Machos (28.1Kg)	Crecimiento	60	0.03 ^a	0.09 ^b	Félix et al., 2011
Almidón	Vaquillas Angus (455 Kg)	Finalización	25	4.38 ^a	3.55 ^b	Li et al., 2011

Nitrógeno	Vaquillas Holstein (351 Kg)	Finalización	25	4.84 ^a	3.68 ^b	May et al., 2009
	Novillos Cruzados (489 Kg)	Finalización	35	5.20 ^a	3.70 ^b	Yang et al., 2011
	Vaquillas Hereford (420 Kg)	Finalización	40	0.19 ^a	0.26 ^b	Walter et al., 2011
	Ovinos Machos (28.1Kg)	Crecimiento	60	0.03 ^a	0.04 ^b	Félix et al., 2011

a, b Literales diferentes entre columnas indican diferencia significativa ($P < .05$) entre tratamientos.

Materia Seca: En dietas para ovinos en finalización, Schauer et al. (2008) encontraron una mejora de 14% en el Consumo de Materia Seca (CMS), al incluir DDGS hasta 60% con respecto a la dieta control. Sin embargo, Hüls et al. (2006) al incluir 23% de DDGS y Félix et al. (2011) y Neville et al. (2011) en bovinos incluyendo hasta 60% DDGS no encontraron diferencias significativas en el CMS.

En bovinos en finalización se encontró un incremento de 17% en el CMS al incluir 40% de DDGS en comparación con dietas basadas en maíz roado (Trejo et al., 2009). Li et al. (2011) al incluir 25% DDGS en la dieta encontraron un incremento de 6% en el CMS en comparación con la dieta control, esto concuerda con lo reportado por Beliveau y McKinnon (2008) y Gibb et al. (2008). Sin embargo Walter et al. (2010) reportaron que en bovinos en finalización alimentados con dietas a base de cebada se encontró una disminución de 6% en el CMS a medida que los DDGS se incluyeron hasta 40% en comparación con la dieta control. Similarmente, Eun et al. (2009) reportó que el CMS de ganado en finalización alimentado con dietas de cebada disminuyó a medida que los DDGS reemplazaron hasta 18% MS de la dieta.

Materia Orgánica: La inclusión de DDGS en dietas de finalización para vaquillas en niveles de 20 y 25% de la dieta incrementaron la Ingestión de Materia Orgánica (IMO) en 2 y 5%, respectivamente. (Li et al., 2011 y Walter et al., 2011). Sin embargo, May et al. (2009) no encontró diferencias significativas

en la IMO en dietas de finalización para novillos Holstein con niveles de hasta 25% de inclusión del subproducto en dietas a base de maíz roado y en hojuelas. Leupp et al. (2009) reportó una reducción en la IMO de 22% al incluir hasta 15% de DDGS en la dieta y probablemente haya sido como resultado del incremento en grasa y azufre en las dietas mientras incrementaba el nivel de inclusión de este subproducto.

Proteína Cruda: Uwituze et al. (2009) reportaron un incremento numérico en la Ingestión de Proteína Cruda (IPC) al incluir 25% DDGS en dietas de finalización para novillos Holstein. Sin embargo, Yang et al. (2011) encontró un incremento significativo de 50% en la IPC al incluir 25% DDGS en dietas de finalización para novillos y de igual manera Li et al. (2011) obtuvo un incremento de 86% en la IPC en dietas de finalización para vaquillas Angus con 25% de Inclusión.

Ingestión de Fibras: May et al. (2009) reportaron que al agregar 25% de DDGS a dietas suministradas a novillos aumento 25% la Ingestión de Fibra Detergente Neutra (IFDN). Estos resultados concuerdan con Yang et al. (2011) quienes observaron un incremento de 12% al incluir 25% de DDGS en dietas para novillos en finalización. En ovinos, Félix et al. (2011) encontraron un incremento de 60% en la IFDN incluyendo hasta 60% de DDGS en las dietas. Leupp et al (2009) reportaron mayor IFDN al incluir 15% de DDGS con un incremento de 22%, sin embargo al incluir niveles de hasta 60% de este

subproducto se encontró una disminución de 8% en comparación con la dieta control.

La Ingestión de Fibra Detergente Acida (IFDA) en novillos en crecimiento aumento 24% al incluir 15% de DDGS en las dietas (Leupp et al. 2009). Sin embargo al incluir niveles de hasta el 60% se reporto una disminución de 15% en comparación con la dieta control. Similarmente, Li et al. (2011) al incluir 25% de DDGS en dietas de bovinos en finalización encontraron un incremento de 36% y de igual manera en ovinos Félix et al. (2011) reportaron un incremento de 32% en la IFDA cuando incluyo hasta 15% de DDGS en la dieta. Estos resultados no son sorprendentes porque el contenido de FDN y FDA es mayor en los DDGS en comparación con otros granos (Nuez-Ortín y Yu, 2009).

Extracto Etéreo: Félix et al. (2011) encontraron un incremento de 203% en la Ingestión de Extracto Etéreo (IEE) en ovinos cuando incluyo 60% DDGS en dietas de finalización, este incremento se debe esencialmente al alto contenido de grasa presente en los DDGS. En bovinos, Li et al. (2011) observaron un incremento de 24% en la IEE al incluir hasta 30% de DDGS en dietas de finalización para vaquillas Angus. Sin embargo May et al. (2009) encontraron que la IEE disminuyó 15% al incluir 25% de DDGS en dietas para novillos Holstein en comparación con dietas a base de maíz en hojuela.

Ingestión de Almidón: Los DDGS tienen una cantidad mínima de almidón en comparación con el grano del cual fue producido (Nuez-Ortín y Yu, 2009). May et al. (2009) encontraron que al agregar 25% de DDGS a dietas suministradas a novillos en finalización disminuyó 24% la ingesta de almidón en comparación con el control. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Li et al. (2011) y Yang et al. (2011) quienes al incluir 25 y 35% de DDGS en dietas de finalización para bovinos encontraron 19 y 29% de reducción en la ingesta de almidón.

Efecto de los DDGS sobre el pH y la producción de Ácidos Grasos Volátiles (AGV's)

pH Ruminal: Leupp et al. (2009) encontraron un incremento de 3.3% (pH 6.6) en el pH ruminal al incluir hasta 60% de DDGS en dietas de crecimiento para novillos y podría ser como resultado de niveles inferiores de almidón en los DDGS en comparación con dietas a base de maíz (Cuadro 4). May (2008) observó que al incluir 25% DDGS en dietas de maíz rolado o en hojuelas el pH ruminal descendía comparado con la dieta control. Sin embargo Ham et al (1994) no encontró efecto de los DDGS sobre el pH ruminal cuando se alimentaron con niveles de hasta 40% y de igual manera Peter et al. (2000) incluyeron 20% de DDGS, reemplazando el almidón de maíz, en dietas de finalización y reportaron que no encontraron diferencias en el pH.

Cuadro 4: Efecto de los DDGS sobre el pH y producción de AGV's

Parámetro	Animal	Tipo de Dieta	Inclusión (%MS)	Control	DDGS	Referencia
pH	Novillos Cruzados (606 Kg)	Suplemento	20	5.96 ^a	6.24 ^b	Peter et al., 2000
	Vaquillas Hereford (420 Kg)	Finalización	20	6.00	5.95	Walter et al., 20011
	Novillos (550Kg)	Crecimiento	60	6.42 ^a	6.63 ^b	Leupp et al., 2009
Ácidos Grasos Volátiles, mM	Novillos (550Kg)	Crecimiento	15	97.60 ^a	99.90 ^b	Leupp et al., 2009
	Vaquillas Hereford (420 Kg)	Finalización	20	126.10	125.20	Walter et al., 20011
	Vaquillas (416 Kg)	Suplemento	89.1	87.00 ^a	102.10 ^b	Loy et al., 2007
Acetato, mol/100mol	Novillos (550Kg)	Crecimiento	15	59.50 ^a	53.30 ^b	Leupp et al., 2009
	Novillos Cruzados (606 Kg)	Suplemento	20	31.50 ^a	32.60 ^b	Peter et al., 2000
	Vaquillas Hereford (420 Kg)	Finalización	20	52.30	52.90	Walter et al., 20011
Propionato,	Vaquillas Holstein (351)	Finalización	25	35.02	35.28	May et al. 2008

mol/100mol	Vaquillas Hereford (420 Kg)	Finalización	40	32.10	28.20	Walter et al., 20011
	Novillos (550Kg)	Crecimiento	60	20.40 ^a	23.10 ^b	Leupp et al., 2009
Butirato, mol/100mol	Novillos Cruzados (606 Kg)	Suplemento	20	4.60 ^a	6.80 ^b	Peter et al., 2000
	Novillos (550Kg)	Crecimiento	30	13.50	14.30	Leupp et al., 2009
	Vaquillas Hereford (420 Kg)	Finalización	40	10.80 ^a	14.90 ^b	Walter et al., 20011
	Novillos (550Kg)	Crecimiento	15	2.95 ^a	2.81 ^b	Leupp et al., 2009
Tasa A:P mol/mol	Vaquillas Holstein (351)	Finalización	25	1.25	1.32	May et al. 2008
	Vaquillas Hereford (420 Kg)	Finalización	40	1.68	1.89	Walter et al., 20011

a, b Literales diferentes entre columnas indican diferencia significativa (P<.05) entre tratamientos.

Beliveau y McKinnon (2009) señalan que cuando se reemplaza con DDGS, un alimento bajo en almidón, un pH ruminal mayor o más estable, o ambos, se podría esperar, sin embargo la incapacidad de los DDGS para mitigar la acidosis puede ser el resultado de sus bajos valores de FDN físicamente efectiva.

Ácidos Grasos Volátiles (AGV's): En vaquillas, Loy et al. (2007) reportaron que las concentraciones de AGV's se incrementaron 17% al incluir DDGS en el suplemento. De igual manera, Leupp et al. (2009) encontraron que la concentración total de AGV's se incrementaron 2.4% al incluir 15% de DDGS, sin embargo, disminuyó 15% cuando se incluyó hasta 60% de DDGS en comparación con dietas a base de maíz para novillos en crecimiento. Peter et al. (2000) y Walter et al. (2011) reportaron que no encontraron diferencias en la concentración de AGV's debido a la inclusión de DDGS en la dieta.

Acetato: Leupp et al. (2009) reportaron que la proporción de Acetato disminuyó 10% en dietas para novillos en crecimiento cuando se alimentaron con niveles de hasta 60% DDGS. Peter et al. (2000) reportaron que al incluir 20% de DDGS en reemplazo del maíz en el suplemento para novillos no encontraron diferencias en las proporciones molares de Acetato que concuerda con los resultados obtenidos por May (2008), May et al. (2009) y Walter et al. (2011) en dietas de finalización para bovinos.

Propionato: En dietas de crecimiento para novillos, Leupp et al. (2009) reportaron que las proporciones molares de Propionato incrementaron 13% cuando se suministraron a los animales dietas con niveles de hasta 60% de DDGS. Al contrario, Peter et al. (2000), May (2008) y Walter et al. (2011) no encontraron diferencias significativas pero si numéricas en las proporciones de Propionato. Según Nuez-Ortín y Yu, (2009), los DDGS tienen bajos niveles de almidón y esto puede explicar porqué las concentraciones de Propionato disminuyeron cuando los DDGS reemplazaron otros granos, lo cual concuerda con Philippeau et al. (1999) quienes señalaron que la disminución en la cantidad de almidón disponible en el rumen se correlaciona con concentraciones reducidas de Propionato.

Butirato: Peter et al. (2000) encontraron que al incluir 20% de DDGS en el suplemento para novillos incremento 48% la proporción de butirato, estos resultados concuerdan con Kleinschmit et al. (2006) quienes informaron que la proporción molar de este ácido graso fue mayor para los bovinos alimentados con 20% de DDGS que para aquellos alimentados con una dieta de harina de maíz y soya. Similarmente los resultados obtenidos por Walter et al. (2011) indican un incremento de 38% en la concentración de Butirato cuando incluyo 40% de DDGS en la dieta de finalización para vaquillas Hereford. Según Nuez-Ortín y Yu, (2009) debido a los altos niveles de fibra presente en los DDGS esto podría explicar porqué las concentraciones de este ácido aumentaron cuando los DDGS reemplazaron a otros granos.

Tasa Acetato:Propionato (A:P): Leupp et al. (2009) al incluir 15% de DDGS en dietas de crecimiento para novillos encontró una disminución de 5% en la relación A:P en comparación con la dieta control, que concuerda con Van der Pol et al. (2008) quienes también reportaron una disminución en las proporciones de Acetato y un incremento en el Propionato, que resultó en una disminución de la Tasa A:P en novillos alimentados con niveles hasta 40% de DDGS. Al contrario, May (2008) y Walter et al. (2011) no encontraron diferencias significativas en la relación A:P.

Efectos de los DDGS sobre la digestibilidad de nutrientes

Tal vez el desafío más grande de usar los granos secos de destilería con solubles (DDGS) como alimento para animales es conocer el contenido y digestibilidad de los nutrientes, basado en esto se han desarrollado diferentes investigaciones en la búsqueda de resultados que permitan comprender la respuesta fisiológica que implica la utilización de estos subproductos en las dietas para rumiantes (Cuadro 5).

Materia Seca: En ovinos en crecimiento Félix et al. (2011) al incluir 20% de DDGS encontró un incremento de 2% en la digestibilidad en comparación con el control. De igual manera Li et al. (2011) en vaquillas Angus encontró un incremento de 2% al incluir el mismo nivel. Al contrario Gibb et al. (2008) informó que la digestibilidad de la MS fue 9,8% al incluir hasta 60% de DDGS. Sin embargo Walter et al. (2011) no encontró diferencias en la digestibilidad.

Cuadro 5: Efecto de los DDGS sobre la digestibilidad de nutrientes

Parámetro	Animal	Tipo de Dieta	Inclusión (%MS)	Control	DDGS	Referencia
Digestibilidad (% de la Ingesta)	Vaquillas Hereford (420 Kg)	Finalización	20	80.40	81.60	Walter et al., 20011
	Materia Seca Ovinos Machos (28.1Kg)	Crecimiento	20	76.94 ^a	78.41 ^b	Félix et al., 2011
	Vaquillas Angus (455 Kg)	Finalización	35	76.90 ^a	78.40 ^b	Li et al., 2011
Materia Orgánica	Vaquillas Hereford (420 Kg)	Finalización	20	82.20	83.30	Walter et al., 20011
	Vaquillas Angus (455 Kg)	Finalización	35	79.20 ^a	80.30 ^b	Li et al., 2011
	Novillos (550Kg)	Crecimiento	45	75.60	77.80	Leupp et al., 2009
Proteína Cruda	Vaquillas Angus (455 Kg)	Finalización	35	64.80 ^a	76.80 ^b	Li et al., 2011
	Vaquillas Hereford (420 Kg)	Finalización	40	75.50 ^a	82.80 ^b	Walter et al., 20011
	Novillos (550Kg)	Crecimiento	45	67.80 ^a	78.00 ^b	Leupp et al., 2009

Fibra Detergente Neutra	Novillos (550Kg)	Crecimiento	15	68.00	75.30	Leupp et al., 2009
	Vaquillas Angus (455 Kg)	Finalización	35	47.50 ^a	59.50 ^b	Li et al., 2011
	Vaquillas Hereford (420 Kg)	Finalización	40	53.40 ^a	70.50 ^b	Walter et al., 20011
Fibra Detergente Acida	Novillos (550Kg)	Crecimiento	15	64.70	73.60	Leupp et al., 2009
	Vaquillas Hereford (420 Kg)	Finalización	20	43.50 ^a	61.80 ^b	Walter et al., 20011
	Vaquillas Angus (455 Kg)	Finalización	35	32.00 ^a	56.10 ^b	Li et al., 2011
Extracto Etéreo	Ovinos Machos (28.1Kg)	Crecimiento	20	86.30 ^a	88.01 ^b	Félix et al., 2011
	Vaquillas Angus (455 Kg)	Finalización	30	81.30 ^a	87.90 ^b	Li et al., 2011
	Vaquillas Hereford (420 Kg)	Finalización	40	20.90 ^a	62.90 ^b	Walter et al., 2011
Almidón	Novillos Holstein (487 Kg)	Finalización	25	98.70 ^a	97.70 ^b	Uwituze et al., 2009
	Vaquillas Angus (455 Kg)	Finalización	35	97.40 ^a	98.10 ^b	Li et al., 2011

Nitrógeno	Ovinos Machos (28.1Kg)	Crecimiento	60	71.97 ^a	77.50 ^b	Félix et al., 2011
	Ovinos hembras (57.4 kg)	suplemento	93	47.23 ^a	55.90 ^b	Archibeque et al., 2007

a, b Literales diferentes entre columnas indican diferencia significativa ($P < .05$) entre tratamientos.

Materia Orgánica: En dietas de finalización para vaquillas Angus con 35% de DDGS se encontró un incremento de 1.4% en la digestibilidad (Li et al., 2011). Al contrario, Leupp et al. (2009) y Walter et al. (2011) no encontraron diferencias significativas en las digestibilidades, simplemente un incremento numérico para las dietas con DDGS.

Proteína Cruda: En novillos en crecimiento con dietas de hasta 45% de inclusión de DDGS Leupp et al. (2009) encontró un incremento en la digestibilidad de 15%, que concuerda con los datos obtenidos por Li et al. (2011) y Walter et al. (2011) quienes al incluir niveles de 35 y 40% de DDGS en dietas de finalización encontraron una mejora de 19 y 10%, respectivamente en la digestibilidad de PC.

Fibras: Walter et al. (2011) incluyeron DDGS en niveles de 20 y 40% en dietas de finalización para vaquillas y encontraron un incremento en la digestibilidad de la FDA de 42 y 30%, respectivamente, de igual manera sucedió con la FDN con valores de 23 y 32% a medida que incremento el nivel de DDGS en la dieta. Leupp et al (2009) alimentando grandes cantidades de DDGS (60% MS) en raciones con 70% de concentrado no observo efectos sobre la digestibilidad de FDN y encontró una tendencia a disminuir la digestibilidad de la FDA.

Extracto Etéreo: May et al. (2009) encontraron que la digestibilidad de EE se redujo 3% con la inclusión de 25% de DDGS. Sin embargo, Walter et al. (2011) observaron que la inclusión de DDGS incrementaron de manera cuadrática la digestibilidad de EE con valores de 20, 56 y 62.9% para las dietas control, 20 y 40%, respectivamente. Estos resultados concuerdan con Li et al. (2011) quienes reportaron un incremento de 8% al incluir 30% de DDGS en dietas de finalización para vaquillas Angus. Zinn et al. (2000) señala que el incremento en la digestibilidad de la grasa como es el caso de los DDGS, se debería probablemente a su mayor contenido de grasa así como a la naturaleza insaturada de la misma.

Almidón: Uwituze et al. (2009) observaron que al incluir 25% de DDGS en dietas de finalización para novillos Holstein disminuyó la digestibilidad 1%. Al contrario con lo obtenido por Li et al. (2011) quienes encontraron un aumento de 1% al incluir 35% de DDGS en dietas de finalización para vasquillas Angus.

Nitrógeno: La inclusión de DDGS en dietas y suplementos para ovinos ha mejorado la digestibilidad de N en comparación con las dietas control. Archibeque et al. (2007) al incluir 93.4% de DDGS en un suplemento para ovinos encontró un aumento en la digestibilidad de 18%, estos resultados guardan relación con Félix et al. (2011) quienes al incluir hasta 60% de DDGS

en dietas de crecimiento para ovinos observaron un incremento de 8% en la digestibilidad de N.

CONCLUSIONES

La disponibilidad de los granos de destilería como alimento para los rumiantes ampliamente se incrementara a medida que la industria del etanol se expanda. Actualmente se utilizan como alternativa alimenticia por su alto valor nutricional en comparación con los granos tradicionales utilizados en la alimentación animal. Los granos de destilería son altos en fibra, proteína y grasa y gracias a esto se ha podido utilizar como fuente de proteína cuando han sido incluidos en niveles inferiores al 15% base MS o bien como fuente de energía cuando se incluyen a niveles superiores al 15% en dietas de finalización para bovinos.

Los efectos de los granos de destilería sobre el desempeño animal no son influenciados por el tipo de grano fermentado o la forma física (húmedos vs secos) de los subproductos. Sin embargo el desempeño si se ve influenciado por el método de procesamiento de los granos basales de las dietas. Los efectos de los granos de destilería sobre el desempeño y metabolismo animal en bovinos de leche y engorda están más o menos definidos, sin embargo en ovinos en finalización no se cuenta con información suficiente que avale el nivel de inclusión optimo y sus efectos sobre la función ruminal de esta especie permitiendo así potencializar la utilización de este ingrediente en las dietas.

LITERATURA CITADA

- Abbott, D.A., y W.M. Ingledew. 2005. The importance of aeration strategy in fuel alcohol fermentations contaminated with *Dekkera/Brettanomyces* yeasts. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 69:16-21.
- Al-Suwaiegh, S., K. C. Fanning, R. J. Grant, C. T. Milton, y T. J. Klopfenstein. 2002. Utilization of distillers grains from the fermentation of sorghum or corn in diets for finishing beef and lactating dairy cattle. *J Anim Sci*. 80:1105-1111.
- Applegate, T. J., M. Latour, y K. E. Ileleji. 2008 Nuevas perspectivas en el uso de Co-productos de la industria de bioetanol en la fabricación de piensos. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. XXIV Curso de Especialización FEDNA. Madrid, España. p. 423
- Archibeque, S. L., H. C. Freetly, y C. L. Ferrell. 2007. Feeding distillers grains supplements to improve amino acid nutriture of lambs consuming moderate-quality forages. *J Anim Sci* 2008.86:691-701.
- Banat, I.M., P. Nigam, D. Singh, R. Merchant, y A.P. McHale. 1998. Ethanol production at elevated temperatures and alcohol concentrations: A review; Part-I Yeast In General. *World J. Microbial. Biotechnol*.14:809-821.
- Beliveau, R. M., y J. J. McKinnon. 2009. Effect of graded levels of wheat-based dried distillers grains with solubles on rumen fermentation in finishing cattle. *Can. J. Anim. Sci*. 89:513–520.
- Berger, L. y V. Singh. 2009. Changes and evolution of corn co products for beef cattle. *J. Anim. Sci*.88:E143-E150.
- Budny, D., y P. Sotero. 2007. The Global Dynamics of Biofuels. Disponible en: www.wilsoncenter.org/topics/pubs/Brazil_SR_e3.pdf. Consultado Sep. 25, 2010.
- Chhorn, L. y Mediha Yildirim-Aksoy. 2008. Distillers Dried Grains with Solubles as an alternative protein source in fish feeds. Aquatic Animal Health Research Unit, Agricultural Research Service, US Department of Agriculture.
- Cromwell, G.L., Herkelman, K.L. y Stahly, T.S. 1993. Physical, chemical, and nutritional characteristics of distillers dried grains with solubles for chicks and pigs. *J. Anim. Sci*. 71: 679-686.

- Cyriac, J., M. M. Abdelqader, K. F. Kalscheur, A. R. Hippen, y D. J. Schingoethe. 2005. Effect of replacing forage fiber with non-forage fiber in lactating dairy cow diets. 88(Suppl. 1):252
- De Blas, C., G.G. Mateos y P.G. Rebollar. 2003. Tablas FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal) de composición y valor nutritivo de alimentos para la formulación de piensos compuestos (2ª ed.). Madrid, España. Disponible en: <http://www.etsia.upm.es/fedna/tablas.htm>. Consultado Sep. 10, 2010.
- Depenbusch, B. E., C. M. Coleman, J. J. Higgins, y J. S. Drouillard. 2009. Effects of increasing levels of dried distiller's grains with solubles on growth performance, carcass characteristics, and meat quality of yearling heifers. J. Anim. Sci. doi:10.2527/jas.2008-1496.
- Dupin, I. V. S., B. M. McKinnon, C. Ryan, M. Boulay, A. J. Markides, P. J. Graham, P. Fang, Q., I. Boloni, E. Haque, y C. K. Spillman. 1997. Comparison of energy efficiency between roller mill and a hammer mill. Appl. Engineering in Agric.13:631-635.
- Erickson G.E., T.J. Klopfenstein, D.C. Adams, y R.J. Rasby. 2005. General overview of feeding corn milling co products to beef cattle. In: Corn Processing Co-Products Manual. University of Nebraska. Lincoln, NE, USA.
- Erickson, G.E., T.J. Klopfenstein, D.C. Adams, and R.J. Rasby. 2006. Utilization of Corn Co-Products in the Beef Industry. Nebraska Corn Board and the University of Nebraska. www.nebraskacorn.org. 17 pp.
- Ergul, T., C. Martinez Amezcus, C. M., Parsons, B. Walters, J. Brannon and S. L. Noll. 2003. Amino acid digestibility in corn distillers dried grains with solubles. Poultry Sci. 82 (Suppl. 1): 70.
- Eun, J.-S., D. R. ZoBell, and R. D. Wiedmeier. 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. Anim. Feed Sci. Technol. 152:72–80.
- Feedstuffs. 2009. Ingredient Analysis Table. Disponible en: <http://www.feedstuffs.com>. Consultado Sep. 15, 2010.
- Felix, T. L., H. N. Zerby, S. J. Moeller, y S. C. Loerch. 2011a. Effects of increasing dried distillers grains with solubles on performance, carcass characteristics, and digestibility of feedlot lambs. J. Anim. Sci. 2011-4373.

- Gibb, D. J., X. Hao, y T. A. McAllister. 2008. Effect of dried distillers grains from wheat on diet digestibility and performance of feedlot cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 88:659–665.
- Gunn, P. J., A. D. Weaver, R. P. Lemenager, D. E. Gerrard, M.C. Claeys, y S. L. Lake. 2009. Effects of dietary fat and crude protein on feedlot performance, carcass characteristics and meat quality in finishing steers fed differing levels of dried distiller's grains with solubles. *J. Anim. Sci.* 87:2882–2890.
- Gregg, D.J., A. Boussaid, y J.N. Saddler. 1998. Techno-economic evaluations of a generic wood-to-ethanol process: effect of increased cellulose yields and enzyme recycle. *Bioresour. Technol.* 63:7-12.
- Han, X.Z., and B.R. Hamaker. 2001. Amylopectin fine structure and rice starch paste breakdown. *J. Cereal Sci.* 34:279-284.
- Ham, G. A., R. A. Stock, T. J. Klopfenstein, E. M. Larson, D. H. Shain, y R. P. Huffman. 1994. Wet corn distillers byproducts compared with dried corn distillers grains with soluble as a source of protein and energy for ruminants. *J. Anim. Sci.* 72:3246–3257.
- Hermansson, A.M., y S. Kidman. 1995. Starch – A phase-separated biopolymer system. In: S.E. Harding, S.E. Hill and J.R. Mitchell, Editors, *Biopolymer Mixtures*, Nottingham University Press, UK. 225-245.
- Huls, T.J., A.J. Bartosh, J.A. Daniel, R.D. Zelinsky, J. Held y A.E. Wertz-Lutz. 2006. Efficacy of dried distiller's grains with solubles as a replacement for soybean meal and a portion of the corn in a finishing lamb diet. *Sheep & Goat Res. J.* 21:30-34.
- Ingledew, W.M. 1998. Alcohol production by *Saccharomyces cerevisiae*: A yeast primer. Chapter 5 In: *The alcohol textbook*. 3rd ed. K.A. Jacques, T.P. Lyons and D.R. Kelsall Ed. Nottingham University Press. Nottingham, UK.
- Kelsall, D.R. y T.P. Lyons. 1999. Grain dry milling and cooking for alcohol production: designing for 23% ethanol and maximum yield. Chapter 2. In: *The alcohol textbook*. 3rd ed. K.A. Jacques, T.P. Lyons and D.R. Kelsall Ed. Nottingham University Press. Nottingham, UK.
- Kleinschmit, D. H., D. J. Schingoethe, D. F. Kalscheur, y A. R. Hippen. 2006. Evaluation of various sources of corn dried distiller's grains plus solubles for lactating dairy cattle. *J. DairySci.* 89:4784–4794.
- Klopfenstein, T. J. 2001. Distillers grains for beef cattle. Presented at the National Corn Growers Association, Ethanol Co-Products Workshop, Lincoln, NE, Nov. 7.

- Klopfenstein, T. J., G. E. Erickson, y V. R. Bremer. 2008. Use of distillers by-products in the beef cattle feeding industry. *J. Anim. Sci.* 86:1223–1231.
- Leupp, J. L., G. P. Lardy, M. L. Bauer, K. K. Karges, M. L. Gibson, J. S. Caton, y R. J. Maddock. 2009a. Effects of distillers dried grains with solubles on growing and finishing steer intake, performance, carcass characteristics, and steak color and sensory attributes. *J Anim Sci.*87:4118-4124.
- Leupp, J. L., G. P. Lardy, K. K. Karges, M. L. Gibson, y J. S. Caton. 2009b. Effects of increasing level of corn distillers dried grains with solubles on intake, digestion, and ruminal fermentation in steers fed seventy percent concentrate diets. *J Anim Sci.*87:2906-2912.
- Li, Y. L., T. A. McAllister, K. A. Beauchemin, M. L. He, J. J. McKinnon, y W. Z. Yang. 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.
- Lin, Y., y S. Tanaka. 2006. Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 69: 627-642.
- Loy, T. W., J. C. MacDonald, T. J. Klopfenstein, y G. E. Erickson. 2007. Effect of distillers grains or corn supplementation frequency on forage intake and digestibility. *J. Anim. Sci.* 85:2625–2630.
- May, M. L. 2008. The effects of grain processing method, wet and dry distillers grains with solubles and roughage level on performance and carcass characteristics of finishing cattle. MS Thesis. Kansas State University, Manhattan.
- May, M. L., M. J. Quinn, C. D. Reinhardt, L. Murray, M. L. Gibson, K. K. Karges, y J. S. Drouillard. 2009. Effects of dry-rolled or steam-flaked corn finishing diets with or without twenty-five percent dried distillers grains on ruminal fermentation and apparent total tract digestion. *J ANIM SCI.* 87:3630-3638.
- Neville, B. W., G. P. Lardy, K. K. Karges, S. R. Eckerman, P. T. Berg, y C. S. Schauer. 2011. Interaction of corn processing and distillers dried grains with soluble on health and performance of steers. *J ANIM SCI.* 90:560-567.
- Nuez-Ortin, W. G., y P. Yu. 2009. Nutrient variation and availability of wheat DDGS, corn DDGS and blend DDGS from bioethanol plants. *J. Sci. Food Agric.* 89:1754–1761.
- NRC. 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle (7th Ed.). National Academy Press, Washington, DC.

- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Small Ruminants. National Academy Press, Washington, DC.
- Pederson, C., A. Pahm, y H.H. Stein. 2005. Effectiveness of in vitro procedures to estimate CP and amino acid digestibility coefficients in dried distiller's grain with solubles by growing pigs. *J. Anim. Sci. (Suppl. 2)* 83:39.
- Peter, C. M., D. B. Faulkner, N. R. Merchen, D. F. Parrett, T. G. Nash, y J. M. Dahlquist. 2000. The effects of corn milling co products on growth performance and diet digestibility by beef cattle. *J. Anim. Sci.* 78:1–6.
- Powers, W.J., H.H. Van Horn, B. Harris, Jr., y C.J. Wilcox. 1995. Effects of variable sources of distillers grains plus solubles on milk yield and composition. *J. Dairy Sci.* 78:388-396.
- Philippeau, C., C. Martin, y B. Michalet-Doreau. 1999. Influence of grain source on ruminal characteristics and rate, site, and extent of digestion in beef steers. *J. Anim. Sci.* 77:1587–1596.
- Renewable Fuels Association (RFA). 2012. Ethanol Industry Statistics. Disponible en: <http://www.ethanolrfa.org>. Junio. 28, 2012.
- Sarikaya, E., T. Higassa, M. Adachi, and B. Mikami. 2000. Comparison of degradation abilities of α - and β -amylases on raw starch granules. *Proc. Biochem.* 35:711-715.
- Schauer, C.S., P.B. Berg, M. Stamm, D.M. Stecher, D. Pearson y D. Drolc. 2006. Influence of dried distillers grains on feedlot performance and carcass characteristics of finishing lambs. *Western Dakota Sheep & Beef Day.* 47:34-37.
- Schauer, C. S., M. M. Stamm, T. D. Maddock y P. B. Berg. 2008. Feeding dried distillers grains with solubles as 60 percent of lamb finishing rations results in acceptable performance and carcass quality. North Dakota State University. *Sheep and Goat Research Journal.* Vol. 23.
- Schingoethe, D.J. 2004. Corn Co-products for Cattle. Proceedings from 40th Eastern Nutrition Conference, May 11-12, Ottawa, ON, Canada. pp 30-47.
- Spiehs, M. J., M. H. Whitney, and G. C. Shurson. 2002. Nutrient data base for distiller's dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. *J. of Animal Science* 80(10): 2639-2645.
- Stein, H., A. Pahm, y C. Pedersen. 2005. Methods to determine amino acid digestibility in corn byproducts. In: Proceedings of the 66th Minnesota Nutrition Conference. St. Paul. MN. USA. 35-49.

- Thomas, K.C., S.H. Hynes, y W.M. Ingledew. 1996. Practical and theoretical considerations in the production of high concentrations of alcohol by fermentation. *Proc. Biochem.* 31:321-331.
- Tjardes, J. y C. Wright. 2002. Feeding corn distiller's co-products to beef cattle. SDSU Extension Extra. Ex 2036, August 2002. Dept. of Animal and Range Sciences. pp. 1-5.
- Torija, Ma. J., N. Rozès, M. Poblet, J.M. Guillamón, y A. Mas. 2003. Effects of fermentation temperature on the strain population of *Saccharomyces cerevisiae*. *International Journal of Food Microbiology*. 80: 47-53.
- Trejo, C. O., L. L. Berger, T. G. Nash, and L. Forster. 2009. Distillers grains-soy hull diets as acorn replacement for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 87(E-Suppl. 3):94.
- Urriola, P.E., D. Hoehler, C. Pederson, H.H. Stein, L.J. Johnston, y G.C. Shurson. 2007. Prediction of in vivo amino acid digestibility in dried distillers grains with solubles (DDGS) from crude protein, optical density and fluorescence. *J. Anim. Sci.* 85:31 (Suppl. 2).
- United States Grains Council. 2009. Market Profile México. Disponible en: http://www.grains.org/images/stories/Barley_Corn_and_Sorghum/Stats_and_Charts/2009/Mexico_Market_Profile.pdf. Consultado Sep. 18, 2010.
- Uwituze, S., G. L. Parsons, M. K. Shelor, B. E. Depenbusch, K. K. Karges, M. L. Gibson, C. D. Reinhardt, J. J. Higgins, y J. S. Drouillard. 2009. Evaluation of dried distillers grains and roughage source in steam-flaked corn finishing diets. *J Anim Sci.* 88:258-274.
- Vander Pol, K. J. , M. K. Luebbe, G. I. Crawford, G. E. Erickson, y T. J. Klopfenstein. 2008. Performance and digestibility characteristics of finishing diets containing distillers grains, composites of corn processing coproducts, or supplemental corn oil. *J ANIM SCI* 2009, 87:639-652.
- Walter, L. J., J. L. Aalhus, W. M. Robertson, T. A. McAllister, D. J. Gibb, M. E. R. Dugan, N. Aldai, y J. J. McKinnon. 2010. Evaluation of wheat or corn dried distillers grains with solubles on performance and carcass characteristics of feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 90:259–269.
- Walter, L. J., T. A. McAllister, W. Z. Yang, K. A. Beauchemin, M. He, y J. J. McKinnon. 2011. Comparison of wheat or corn dried distillers grains with soluble on rumen fermentation and nutrient digestibility by feedlot heifers. *J ANIM SCI.* 90:1291-1300.

- Wilson, J.A., Whitney, M.H., Shurson, G.C. y Baidoo, S.K. 2003. Effects of adding distiller's dried grains with solubles (DDGS) to gestation and lactation diets on reproductive performance and nutrient balance. *J. Anim. Sci.* 81(Supplement 1).
- Wingren, A.M., Galbe, y G. Zacchiu. 2003. Techno-Economic Evaluation of Producing Ethanol from Softwood: Comparison of SSF and SHF and Identification of Bottlenecks. *Biotechnol. Prog.* 19:1109-1117.
- Whitney, M.H. y Shurson, G.C. 2004. Growth performance of nursery pigs fed diets containing increasing levels of corn distiller's dried grains with solubles originating from a modern Midwestern ethanol plant. *J. Anim. Sci.* 82:122-128.
- Yang, W. Z., Y. L. Li, T. A. McAllister, J. J. McKinnon, y K. A. Beauchemin. 2011. Wheat distillers grains in feedlot cattle diets: Feeding behavior, growth performance, carcass characteristics, and blood metabolites. *J ANIM SCI.* 90:1301-1310.
- Zelinsky, R., J. Daniel, y J. Held (2006). *The Effect of Corn or Soybean Hull Diets Supplemented with Dried Distillers Grain with Solubles (DDGS) on Finishing Lamb Performance and Carcass Merit.* South Dakota State University Cooperative Extension Service, Sheep Research Report.
- Zinn, R. A., S. K. Gulati, A. Plascencia, y J. Salinas. 2000. Influence of ruminal biohydrogenation on the feeding value of fat in finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 78:1738–1746.

Heading title: DDGS on digestive function in drylot lambs

Effects of replacing cracked corn with increasing levels of corn distillers dried grains with solubles on digestion and ruminal fermentation in lambs fed high-concentrate diets

B.I. Castro-Pérez^a, J.S. Garzón-Proaño^a, M.A. López-Soto^a, A. Barreras^a, V.M. González, A. Plascencia^{a*}, A. Estrada-Angulo^b, H. Dávila-Ramos^b, F.G. Ríos-Rincón^b, R.A. Zinn^c

^aInstituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias. Universidad Autónoma de Baja California. Km 4.5 carretera Mexicali-San Felipe, CP 21386, Mexicali, Baja California, México.

^bFacultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Sinaloa. Blvd. San Ángel s/n; Fraccionamiento San Benito 80246, Culiacán, Sinaloa, México.

^c *Department of Animal Science, University of California, Davis 95616, USA.*

*Corresponding author: aplas_99@yahoo.com;
alejandro.plascencia@uabc.edu.mx (A. Plascencia)

Enviado a Livestock Science Journal ISSN:1871-1413

26 **Abstract:** Four male intact lambs ($25.9 \pm 2.9\text{kg}$) with cannulas in the rumen and
27 proximal duodenum were used in a 4×4 Latin square design experiment to
28 evaluate the effect of levels of dry distillers grain with solubles (DDGS)
29 supplementation (0, 10, 20 and 30%, DM basis) as a replacement for cracked
30 corn in finishing diets on characteristics of digestive function. Chromic oxide
31 was used as an indigestible marker to estimate nutrient flows and digestibility.
32 The average ruminal pH was 6.20 ± 0.29 , and was not affected ($P \geq 0.15$) by
33 treatments. Replacing cracked corn with DDGS increased ($P < 0.01$) the flow to
34 small intestine of NDF and lipids in a linear fashion. The substitution of cracked
35 corn with DDGS did not affect flow to the small intestine of MN ($P \geq 0.56$), but
36 increased (linear $P < 0.01$) the feed N flow and tended to increase the flow of
37 total N ($P = 0.07$) and non-ammonia N ($P = 0.08$). The estimated rumen
38 undegradable intake protein (UIP) value of DDGS averaged 44%. At the
39 ruminal level, the replacement of corn by DDGS increased NDF digestion
40 (quadratic effect, $P = 0.01$), and decreased OM digestion (linear effect, $P =$
41 0.01) without any effects ($P \geq 0.45$) on MN efficiency. However, ruminal N
42 efficiency (the flow of non-endogenous N to the small intestine as a proportion
43 of N intake) decreased (linear effect, $P = 0.02$) when the DDGS
44 supplementation increased. Post-ruminal digestion of OM, starch, N and lipids
45 were not affected by DDGS level, but a compensation of NDF post-ruminal
46 digestion was observed (quadratic effect, $P = 0.01$) being maximal to a 30%
47 substitution. The total tract digestion of N increased (linear, $P = 0.04$) as the
48 level of DDGS increases. DDGS levels tended to increase (linear effect, $P =$

0.06) with total tract NDF digestion. However, the level of DDGS substitution tended to decrease (linear effect, $P = 0.06$) total tract OM digestion and the digestibility of gross energy (DE, %; $P = 0.08$). It is concluded that the replacement of cracked corn up to 30% by DDGS decreased ruminal OM digestion, and tended to decrease the total tract digestion of OM and digestible energy. However, it did not affect the dietary DE (Mcal/kg), reflecting the greater gross energy content of DDGS versus cracked corn in the replacements.

Key words: Corn, DDGS, digestion, lambs, finishing diets

1. Introduction

During the production process of distillers dry grain with solubles (DDGS), protein, minerals, fat and fiber are concentrated three-fold as co-products when compared with corn. Therefore, DDGS contains approximately 30% CP (73% ruminal undegradable intake protein, UIP) and 11% fat (NRC, 2000), and often costs less than corn (USDA, 2010). Historically DDGS has primarily been feed to beef, dairy, swine and poultry animals (Rosentrater, 2012). Even though DDGS should be appropriate as a feed ingredient for sheep, there are limited reports in terms of the effects on digestive function and the energy value of DDGS for this species. The high potential of the nutritional value of DDGS can be useful for replacing dry-rolled or steam-flaked corn in growing-finishing diets of cattle (Klopfenstein, 2008). However, it appeared that the feed value of distillers grains may vary by level of inclusion (Uwituze et al., 2010) and by the type of processing (dry rolled or steam-flaked) of the corn grain that is replaced

72 (May et al., 2009; Luebbe et al., 2012). The optimal responses (daily weight
73 gain and feed efficiency) in feedlot cattle when DDGS has replaced corn grain
74 in finishing diets have been observed with moderate levels (i.e. 20%) of DDGS
75 inclusion as a replacement of steam-flaked grain (Uwituze et al., 2010; May et
76 al., 2009, Luebbe et al., 2012). Compared to steers, lambs and goats have a
77 greater ability to effectively utilize cracked corn (Theurer, 1986). Thus, in the
78 growing-finishing diets of lambs, corn is including mainly as cracked corn,
79 however, little information is available on the effects of DDGS replacing cracked
80 corn on site and the extent of digestion of nutrients and digestible energy in
81 lambs fed a high-energy diet.

82 Consequently, the objective of this study was to determine the effects of
83 DDGS supplementation levels on digestive function in lambs fed a high-energy
84 cracked corn-based diet.

85

86 **2. Material and Methods**

87 *2.1 Animals, diets and sampling*

88 The trial was conducted at the Ruminant Metabolism Experimental Unit
89 of the Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias of the Universidad
90 Autónoma de Baja California, located 10 km south of Mexicali City in
91 northwestern México (32° 40' 7"N and 115° 28' 6"W). The area is about 10 m
92 above sea level, and has Sonoran desert conditions (BWh classification
93 according Köppen). All procedures involving live animals were conducted within
94 the guidelines of the approved local official techniques of animal care.

95 Four male intact lambs (Katahdin; average live weight 25.9 ± 2.9 kg) with
96 “T” type cannulas in the rumen and proximal duodenum (4 cm from the pyloric
97 sphincter) were used in a 4×4 Latin square experiment to evaluate the
98 influence of supplemental DDGS levels in the substitution of cracked corn on
99 characteristics of digestive function. Four dietary treatments were compared: 1)
100 Control (0% DDGS); 2) 10% DDGS; 3) 20% DDGS; and 4) 30% DDGS. Diets
101 were formulated to be isocaloric but not isonitrogenous, because the protein
102 level increases as the level of DDGS replacing corn in the diet increased (Table
103 1). Chromic oxide (used as a source of chromium to estimate nutrient flow and
104 digestibility) was added to the diets. Chromic oxide (4 g/kg of diet air dry basis)
105 was premixed with minor ingredients (urea and mineral supplement composed
106 of limestone and trace mineral salts) before incorporation into complete mixed
107 diets. White corn was used as source of grain in the form of a commercial blend
108 obtained from Sinaloa, Mexico. Corn was prepared by passing whole corn
109 through rollers (46 × 61cm rolls, 5.5corrugations/cm; Memco, Mills Rolls, Mill
110 Engineering & Machinery Co., Oklahoma, CA) and machinery that had been
111 adjusted so that the kernels were broken into a bulk density of 0.70 kg/L. The
112 forage source of diet (sudangrass hay) was ground in a hammer mill (Bear Cat
113 #1A-S, Westerns Land and Roller Co., Hastings, NE) with a 3.81cm screen, before
114 incorporation into complete mixed diets. The source of dry distillers grain with
115 solubles that was utilized was golden DDGS with a 0.8% maximal content of
116 sulfur (Pinal Energy LLC, Maricopa, AZ). All lambs received *ad libitum* access
117 to the corn-basal diet (0% DDGS) for 14 days before the initiation of the trial.

118 Feed intake (as feed basis) was restricted to 750 g/d (90% of *ad libitum* intake
119 of lambs during the 14-d preliminary period). Lambs were maintained in
120 individual metabolism crates (1.2 × 1.6 × 0.7m) in an indoor facility with access
121 to water at all times. Diets were fed in two equal proportions at 0800 and 2000
122 h daily. Experimental periods consisted of a 17-d diet adjustment period
123 followed by a 4-d collection period. During the collection period, duodenal and
124 fecal samples were taken from all lambs twice daily as follows: d 1, 0750 and
125 1350 h; d 2, 0900 and 1500 h; d 3, 1050 and 1650 h; and d 4, 1200 and 1800 h.
126 Individual samples consisted of 150 mL duodenal chyme and total fecal
127 material. Samples from each lamb and within each collection period were
128 composited for analysis. During the final day of each collection period, a ruminal
129 sample was obtained from each lamb 4 h after feeding via the ruminal cannula.
130 Ruminal fluid was taken from the ruminal ventral sac using tygon tubing ($\frac{3}{8}$ ”;
131 USP Lima, Ohio) adapted to a 100 mL syringe (Medical plastic appliance,
132 Jiangzu, China), and the pH was determined (Orion 261S, Fisher Scientific,
133 Pittsburgh, PA) on fresh samples. Upon completion of the trial, ruminal fluid was
134 obtained from all lambs and composited for the isolation of ruminal bacteria via
135 differential centrifugation (Bergen et al., 1968). The microbial isolate served as
136 the purine:N reference for the estimation of microbial N contribution to chyme
137 entering the small intestine (Zinn and Owens, 1986).

138

139 2.2 Sample analysis and calculations

140 The bulk density of cracked corn and DDGS was measured using a
141 standard bushel tester (OHAUS grain scale Model 8324915, Parssipani, NJ,
142 USA) following the method prescribed by the USDA (1999).

143 Ingredients (DDGS and cracked corn), feed, and duodenal and fecal
144 samples were subjected the following analysis: DM (oven drying at 105°C until
145 no further weight loss; method 930.15, AOAC, 2000); ash (method 942.05,
146 AOAC, 2000), Kjeldahl N (method 984.13, AOAC, 2000); NDF [(Van Soest et
147 al., 1991, corrected for NDF-ash) incorporating heat stable α -amylase (Ankom
148 Technology, Macedon, NY) at 1mL per 100mL of NDF solution (Midland
149 Scientific, Omaha, NE)]; lipids (acid chloroform-methanol extraction; Zinn,
150 1994); chromic oxide (Hill and Anderson, 1958); and starch (Zinn, 1990). In
151 addition, gross energy (**GE**, using the adiabatic bomb model 1271; Parr
152 Instrument Co., Moline, IL. USA) was determined for feed and fecal samples.
153 Ammonia N (method 941.04, AOAC, 2000) and purines (Zinn and Owens,
154 1986) were determined in duodenal samples. Microbial OM and N leaving the
155 abomasum were calculated using purines as a microbial marker (Zinn and
156 Owens, 1986). Organic matter that had fermented in the rumen was considered
157 equal to OM intake minus the difference between the amount of total OM
158 reaching the duodenum and the microbial OM reaching the duodenum. Feed N
159 escape into the small intestine was considered equal to total N leaving the
160 abomasum minus ammonia-N and microbial N and, thus, included any
161 endogenous contributions.

162

163 2.3 Statistical design and analysis

164 The experimental design for this study was a 4 × 4 Latin square.
165 Statistical data were analyzed using the MIXED procedure of SAS (SAS Inst.
166 Inc., Cary, NC). Fixed effects consisted of treatments, and random effects
167 consisted of lambs and period. The statistical model for the trial was as follows:

$$168 Y_{ijk} = \mu + L_i + P_j + T_k + E_{ijk},$$

169 where: Y_{ijk} is the response variable, μ is the common experimental effect, L_i is
170 the lamb effect, P_j is the period effect, T_k is the treatment effect and E_{ijk} is the
171 residual error. Treatment effects were tested for the following non-orthogonal
172 contrasts: 1) linear effect of DDGS level; 2) quadratic effect of DDGS level; and
173 3) cubic effect of DDGS level. Coefficients for polynomial contrasts (linear,
174 quadratic and cubic effects of DDGS level) with equal spacing (0, 10, 20 and
175 30%) were determined according to SAS (SAS Inst., Inc., Cary, NC; Version
176 9.1). Contrasts were considered significant when the P-value was ≤ 0.05 , and
177 as a tendency approaching significance with a P-value of ≤ 0.10 .

178 3. Results and Discussions

179 3.1 Physical and chemical characteristics of DDGS and replaced corn

180 The physicochemical composition of DDGS and cracked corn used in the
181 trial and their relative values according to the NRC (2007) are shown in Table 2.
182 The bulk density of DDGS obtained here corresponds closely to the average
183 bulk density (bulk density varied between 0.389 and 0.502 kg/L) reported
184 previously by Rosentrater (2006). While that bulk density of cracked white corn
185 was 40% greater than that reported by Plascencia et al. (2011); thus, there was

greater coarse-processing of the white corn used in the current study. The nutrient composition of white corn used in the present experiment was consistent with previous reports in which Mexican white corn was tested (Sánchez et al., 2007; Plascencia et al., 2011). Compared to the values assigned to DDGS by the NRC (2007), the relative values of CP, NDF, lipids and ash were 0.90, 0.99, 0.85, and 0.93, respectively. According to the NRC (2007), the main constituent is the NDF, followed by the CP, although this proportion can be changed by the quantity of solubles added during the process (Kim et al., 2008). As a result, much of the variation in the composition of DDGS can be attributed to plant-to-plant differences in the proportions of distillers solubles added during processing (Spiehs et al., 2002; Kim et al., 2008). Due to the greater lipid content of DDGS than that of the DR corn, and compared to the control diet, increasing the DDGS level in the diet increased (linear component; $P < 0.01$, Table 3) the lipid intake by 7.0, 11.7 and 15.8 g/d to 10, 20 and 30% DDGS levels, respectively. These values represent a concentration of 8.8% of the total lipids in DDGS and correspond closely to the total lipids determined by analysis (Table 2) and those reported in DDGS previously (NRC, 2000; Srinivasan et al., 2005; Berger and Singh, 2010; Leup et al., 2009). The average ash content was very similar compared to the results obtained by Spiehs et al. (2002) and Belyea et al. (2004) but was nearly 50% lower than the average obtained by Bhadra et al. (2007).

207

208 *3.2 Characteristics of ruminal pH and site and extent of digestion.*

209 The treatment effects on ruminal pH and site and extent of digestion are
210 shown in Table 3. The ruminal pH averaged 6.20 ± 0.29 , and was not affected
211 ($P \geq 0.15$) by treatment, even though the starch intake decreased (Table 3;
212 linear component, $P < 0.01$) with greater dietary DDGS levels. This could be
213 due to the potential acidity of DDGS, which came from H_2SO_4 , a standard
214 treatment in the ethanol production industry (McAloon et al., 2000). In this
215 sense, Felix and Loerch (2011) reported that feeding DDGS (with S content of
216 0.74%) at greater inclusions (60%) reduced ruminal pH in cattle. Likewise,
217 previous studies reported no differences in ruminal pH when 20% (Peter et al.,
218 2000) or 40% (Ham et al., 1994) DDGS was included in finishing diets to steers.
219 In contrast, Leupp et al. (2009) observed an increase (linear, $P < 0.004$) in
220 ruminal pH as DDGS level increased from 15 to 60% in the substitution of
221 cracked corn.

222 Although DM intake was restricted to the same level across treatments,
223 replacing cracked corn with DDGS increased (linear, $P < 0.01$) NDF, lipid and N
224 intakes and decreased (linear, $P < 0.01$) the starch intake for DDGS vs. DRC
225 treatments. The latter resulted from differences in the chemical composition
226 between DDGS and the replaced corn (Table 2).

227 As in previous studies (May et al., 2008; Corrigan et al., 2009), the
228 substitution of DR corn with DDGS did not influence ruminal, post-ruminal or the
229 apparent total tract digestion of starch averaging 87.2 ± 2.8 , 90.4 ± 3.9 and 98.7
230 $\pm 0.6\%$ to ruminal, post-ruminal and total tract digestion, respectively. It was
231 observed that when cracked or ground corn was fed to sheep the total starch

232 digestibility was more than 99% and the proportion of starch disappearance
233 before the small intestine was around 92% (Green et al., 1987; Larson et al.,
234 1993; Ortega-Cerrilla and Mendoza, 2003).

235 Ruminal NDF digestion increased (quadratic effect, $P = 0.01$) with DDGS
236 substitution. DDGS is a source of readily digestible non-forage fiber (Ham et al., 1994)
237 and its fiber particles are very small. Therefore, rumen microbes could degrade easily (Bhadra
238 et al., 2007). However, the replacement of cracked corn with increasing levels of
239 DDGS decreased (linear effect, $P < 0.01$) the ruminal digestion of OM. This
240 reduction is expected, and is attributable to the relative differences in the
241 ruminal digestibility of NDF (48.3%) vs. starch (88.2%), and the ruminal
242 indigestibility of dietary fat itself (Zinn, 1988).

243 There were no treatment effects on the flow of MN into the small intestine
244 ($P \geq 0.56$) and ruminal microbial efficiency (flow of microbial N to the small
245 intestine as a proportion of OM fermented; $P \geq 0.17$). The substitution of dry-
246 rolled corn with DDGS tended to increase (linear effect, $P = 0.07$) the flow of N
247 to the small intestine. However, the ruminal N efficiency (flow of non-
248 endogenous N to the small intestine as a proportion of N intake) decreased
249 (linear effect, $P=0.02$) with increasing DDGS supplementation. Decreased N
250 efficiency with increasing DDGS-N intake is expected due to the proportional
251 decrease in MN contribution as a function of N intake (whereas MN flow to the
252 small intestine was similar across treatments, its contribution to intestinal N
253 supply decreased inversely with N intake). The ruminal digestion of feed N was
254 not affected ($P \geq 0.20$) by DDGS substitution. Considering the rumen
255 undegradable intake protein (UIP) for cracked corn as 55% (NRC, 1985b), then

256 the value of UIP for DDGS treatments averaged 44%. This value is less than
257 the current tabular value (73%; NRC, 2000). Prior estimates of UIP for DDGS
258 have ranged from 40 to 70% (NRC, 2000; Cao et al., 2009; Leupp et al., 2009;
259 Brake et al., 2010; Islas and Soto-Navarro, 2011). High variation in UIP values
260 may be due to the source and method of processing (Gunn et al., 2009;
261 Hersom et al., 2010), and the proportion of solubles returned to grain solid
262 residues in the DDGS mixture (Cao et al. 2009). Gilbery et al. (2006) observed
263 that at least 87% of the N in corn distiller solubles was degraded in the rumen.

264 There were no treatment effects ($P \geq 0.22$) on post-ruminal digestion of
265 OM and N. However, the post-ruminal digestion of NDF increased (quadratic
266 effect, $P = 0.01$), with a maximal level of 30% of DDGS. The latter may occur as
267 a compensation of NDF digestion, which generally occurred in the hindgut when
268 ruminal NDF digestion was low (Gressley et al., 2011). Compared to 10 and
269 20% DDGS levels, a 30% DDGS level showed lower (15.2%, Table 3) NDF
270 ruminal digestion.

271 Post-ruminal lipid digestion was similar ($P \geq 0.56$) across treatments,
272 averaging 78.8%. Post-ruminal lipid digestion is largely a function of total lipid
273 intake (Zinn, 1994). In the present study, the lipid analysis of DDGS diets
274 averaged 4.7, 5.4 and 5.9% for 10, 20 and 30% DDGS levels, respectively.
275 According to dry matter intakes for DDGS diets (Table 3) and the average BW
276 of lambs (25.9 kg), treatment would equate to lipid consumptions of 1.24, 1.42,
277 and 1.58 g/kg BW, for the 10, 20 and 30% DDGS diets, respectively. Dietary

278 lipid intake values diets were below the 1.6 g/kg of BW suggested by Zinn
279 (1994) as being the optimum digestibility of lipids.

280 DDGS levels tended to increase (linear effect, $P = 0.06$) the total tract
281 NDF digestion. This small increase in the digestibility of NDF reflects the
282 increased intake of highly digestible NDF from diets containing DDGS.
283 However, consistent with the results of Corrigan et al. (2009), the level of DDGS
284 substitution for corn decreased (linear effect, $P < 0.01$) the total tract OM
285 digestion. As with ruminal digestion, the reduction in total tract OM digestion
286 was expected, and was largely attributable to relative differences in the total
287 tract digestibility of NDF (58%) versus starch (99%). Consistent with Leupp et
288 al. (2009) and Brake et al. (2010), the total tract apparent N digestion increased
289 (linear effect, $P = 0.04$) with the level of DDGS substitution. However, this effect
290 may be more of a function of the increased N content of the diet brought about
291 by the replacements (Holter and Reid, 1959). Adjusting for metabolic protein
292 fecal loss (NRC, 1985a), the true digestibility of protein averaged 91.8% that
293 was similar to the average of previous measurements summarized by the NRC
294 (1985a).

295 Consistent with effects on total tract OM digestion, the level of DDGS
296 substitution for cracked corn tended to decrease (linear effect, $P = 0.08$) the
297 digestibility of gross energy (DE, %). However, it did not affect ($P = 0.82$) the
298 dietary DE (Mcal/kg), reflecting the greater gross energy content of DDGS
299 versus cracked corn in the replacements (Table 2).

300

301 **4. Conclusions**

302 Under the conditions of the current experiment, it was concluded that
303 DDGS is appropriate for use as a feed ingredient, and can be included up to
304 30% in the finishing diets of lambs. As a result of differences in the proportion of
305 starch:NDF content between DDGS and replaced corn, the lower ruminal and
306 total tract digestion of OM was mainly attributable to relative differences in the
307 total tract digestibility of NDF versus starch. However, it did not affect dietary
308 DE (Mcal/kg), reflecting the greater gross energy content of DDGS versus
309 cracked corn in the replacements. Accordingly, the comparative DE value of
310 DDGS may be considered similar to the DE value of the cracked corn it
311 replaced in the finishing diets fed to lambs.

312

313 **References**

- 314 AOAC, 2000. Official Methods of Analysis, 17th ed. Association of Official
315 Analytical Chemists, Gaithersburg, MD.
- 316 Belyea, R.L., Rausch, K.D., Tumbleson, M.E., 2004. Composition of corn and
317 distillers' dried grains with solubles from dry grind ethanol processing.
318 Bioresource Technol. 94, 293–298.
- 319 Bhadra, R., Muthukumarappan, K., Rosentrater, K.A., 2007. Characterization of
320 chemical and physical properties of distillers dried grain with solubles
321 (DDGS) for value added uses. ASABE annual meeting paper No.
322 077009.

323 Bergen, W. G., Purser, D.B., Cline, J.H., 1968. Effect of ration on the nutritive
 324 quality of rumen microbial protein. J. Anim. Sci. 27, 1497-1501.

325 Berger L., Singh, V., 2010. Changes and evolution of corn co-products for beef
 326 cattle. J. Anim. Sci. 88, E143-E150.

327 Brake, D.W., Titgemeyer, E.C., Jones, M.L., Anderson, D.E., 2010. Effect of
 328 nitrogen supplementation on urea kinetics and microbial use of recycled
 329 urea in steers consuming corn-based diets. J. Anim. Sci. 88, 2729-2740.

330 Cao, Z. J., Anderson J.L., Kalscheur, K.F., 2009. Ruminal degradation and
 331 intestinal digestibility of dried or wet distillers grains with increasing
 332 concentrations of condensed distillers solubles. J. Anim. Sci. 87, 3013-
 333 3019.

334 Corrigan. M. E., Erickson, G.E., Klopfenstein, T.J., Luebke, M.K., Vander Pol,
 335 K.J., Meyer, N.F., Buckner, C.D., Vanness, S.J., Hanford, K.J., 2009.
 336 Effect of corn processing method and corn wet distiller's grains plus
 337 solubles inclusion level in finishing steers. J. Anim. Sci. 87, 3351-3362.

338 Felix, T.L., Loerch, S.C., 2011. Effects of haylage and monensin
 339 supplementation on performance, carcass characteristics, and ruminal
 340 metabolism of feedlot cattle fed diets containing 60% dried distillers
 341 grains. J. Anim. Sci. 89, 2614-2623.

342 Gilbery, T. C., Lardy, G.P., Soto-Navarro, S.A., Bauer, M.L., Caton, J.S., 2006.
 343 Effects of corn condensed distillers solubles supplementation on ruminal
 344 fermentation, digestion, and in situ disappearance in steers consuming
 345 low-quality hay. J. Anim. Sci. 84, 1468-1480.

346 Green, D.A., Stock, R.A., Goedecken, F.K., Klopfenstein, T.J., 1987. Energy
 347 value of corn wet milling by-product fed for finishing ruminant. J. Anim.
 348 Sci. 65, 1655-1666.

349 Gressley, T.F., Hall, M.B., Armentano, L.E., 2011. RUMINANT NUTRITION
 350 SYMPOSIUM: productivity, digestion and health responses to hindgut
 351 acidosis in cattle. 89, 1120-1130.

352 Gunn, P.J., Weaver, A.D., Lemenager, R.P., Gerrard, D.E., Claeys, M.C., Lake,
 353 S.L., 2009. Effects of dietary fat and crude protein on feedlot
 354 performance, carcass characteristics, and meat quality in finishing steers
 355 fed differing levels of dried distillers grains with solubles. J. Anim. Sci. 87,
 356 2882-2890.

357 Ham, G. A., Stock, R.A., Klopfenstein, T.J., Larson, E.M., Shain, D.H., Huffman,
 358 R.P., 1994. Wet corn distillers byproducts compared with dry corn
 359 distillers grains with solubles as a source of protein and energy for
 360 ruminants. J. Anim. Sci. 72, 3246–3257.

361 Hersom, M.J., Boss, D.L., Wagner, J.J., Zinn, R.A., Branine, M.E., 2010.
 362 Alpha Beef Cattle Nutrition Symposium: Alternative energy sources
 363 for beef cattle finishing diets. J. Anim. Sci. 88 (E. Suppl.), E121-E122.

364 Hill, F. N., Anderson, D.L., 1958. Comparison of metabolizable energy and
 365 productive determinations with growing chicks. J. Nutr. 64, 587-603.

366 Holter, J. A., Reid, J.T., 1959. Relationship between the concentrations of crude
 367 protein and apparently digestible protein in forages. J. Anim. Sci. 18,
 368 1339-1349.

369 Islas, A., Soto-Navarro, S.A., 2011. Effect of supplementation of dried distillers
 370 grains with solubles on forage intake and characteristics of digestion of
 371 beef heifers grazing small-grain pasture. *J. Anim. Sci.* 89, 1229-1237.

372 Kim, Y., Mosier, N.S., Hendrikson, R., Ezeji, T., Blascheck, H., Dienn, B., Cotta,
 373 M., Dale, B., Ladish, M.L., 2008. Composition of corn dry-grind ethanol
 374 by-products: DDGS, wet cake, and thin stillage. *Bioresource Technol.* 99,
 375 5165-5176.

376 Klopfenstein T. J., Erickson, G.E., Bremer, V.R., 2008. BOARD-INVITED
 377 REVIEW: Use of distillers by-products in the beef cattle feeding industry.
 378 *J. Anim. Sci.* 86, 1223–1231.

379 Larson, M.E., Stock, R.A., Klopfenstein, T.J., Sindt, M.H., Shain, D.H., 1993.
 380 Energy value of hominy feed for finishing ruminants. *J. Anim. Sci.* 71,
 381 1092-1099.

382 Leupp, J. L., Lardy, G.P., Karges, K.K., Gibson, M.L., Caton, J.S., 2009. Effects
 383 of increasing level of corn distillers dried grains with solubles on intake,
 384 digestion, and ruminal fermentation in steers fed seventy percent
 385 concentrate diets. *J Anim. Sci.* 87, 2906-2912.

386 Luebke. M. K., Patterson, J.M., Jenkins, K.H., Buttrey, E.K., Davis, T.C., Clark,
 387 B.E., McCollum III, F.T., Cole, N.A., MacDonald, J.C., 2012. Wet distillers
 388 grains plus solubles concentration in steam-flaked corn-based diets:
 389 Effects on feedlot cattle performance, carcass characteristics, nutrient

390 digestibility, and ruminal fermentation characteristics. J. Anim. Sci. 90,
 391 1589-1602.

392 May, M.L., Hands, M. J., Quinn, M.J., Wallace, J.O., Reinhardt, D.D., Murray,
 393 L., Drouillard, J.S., 2008. Digestibility of dried distiller's grains with
 394 solubles in steam-flaked or dry-rolled corn diets. Kansas State University
 395 Beef Cattle Research Report of Progress 95:80–85.

396 May, M. L., Quinn, M.J., Reinhardt, C.D., Murray, L., Gibson, M.L., Karges,
 397 K.K., Drouillard, J.S., 2009. Effects of dry-rolled or steam-flaked corn
 398 finishing diets with or without twenty-five percent dried distillers grains on
 399 ruminal fermentation and apparent total tract digestion. J. Anim. Sci. 87,
 400 3630-3638.

401 McAloon, A., Taylor, F., Yee, W., Ibsen, K., Wooley, R., 2000. Determining the
 402 cost of producing ethanol from cornstarch and lignocellulosic feedstocks.
 403 Tech. Rep. NREL/TP-580-28893. Natl. Renew. Energy Lab., Golden,
 404 CO.

405 NRC, 1985a. Ruminant nitrogen usage. National Academy Press, Washington,
 406 DC.

407 NRC, 1985b. Nutrient requirement of sheep, 6th ed. National Academy Press,
 408 Washington, DC.

409 NRC, 2000. Nutrient requirements of beef cattle, 7th ed. National Academy of
 410 Press. Washington DC.

411 NRC, 2007. Nutrient requirement of small ruminant. Sheep, Goats, Cervids, and
 412 New World Camelids. National Academy Press, Washington, DC.

413 Ortega-Cerrilla, M., Mendoza, M.G., 2003. Starch digestion and glucose
414 metabolism in the ruminant: a review. *Interciencia*.28, 380-386.

415 Peter, C. M., Faulkner, D.B., Merchen, N.R., Parrett, D.F., Nash, T.G.,
416 Dahlquist, J.M., 2000. The effects of corn milling co-products on growth
417 performance and diet digestibility by beef cattle. *J. Anim. Sci.* 78, 1–6.

418 Plascencia, A., Bermudez, R., Cervantes, M., Corona, L., Davila-Ramos, H.,
419 López-Soto, M.A., May, D., Torrentera, N., Zinn R.A., 2011. Influence of
420 processing method on comparative digestion of white corn vs.
421 conventional steam-flaked yellow dent corn in finishing diets for feedlot
422 steers. *J. Anim. Sci.* 89, 136-141.

423 Rosentrater, K.A., 2006. Some physical properties of distillers dried grains with
424 solubles. (DDGS). *Appl. Eng. Agri.* 22, 589-595.

425 Rosentrater, K.A., 2012. Feeding DDGS in other animals, in: Lui, K.,
426 Rosentrater, K.A. (Eds.), *Distiller grain, production properties and*
427 *utilization*. CRC Press, Boca Raton, FL. Pp. 391-397.

428 Spiehs, M. J., Whitney, M.H., Shuron, G.C., 2002. Nutrient database for
429 distiller's dried grains with solubles produced from new ethanol plants in
430 Minnesota and South Dakota. *J. Anim. Sci.* 80, 2639-2645.

431 Sánchez F. C., Salinas, M.Y., Vázquez, C.M.G., Velázquez, C.G.A., Aguilar,
432 G.N., 2007. Efecto de las prolaminas del grano de maíz (*Zea mays* L.)
433 sobre la textura de la tortilla. *ALAN.* 57, 295-301(In Spanish).

434 Srinivasan, R., Moreau, R.A., Rausch, K.D., Belyea, R.L., Tumbleson, M.E.,
435 Singh, V., 2005. Separation of fiber from distillers dried grains with

436 solubles (DDGS) using sieving and elutriation. Cereal Chem. 82, 528-
 437 533.

438 Theurer, C.B., 1986. Grain processing effects on starch utilization by ruminants.
 439 J. Anim. Sci. 63, 1649-1662.

440 USDA, 1999. Practical Procedures for Grain Handlers: Inspecting Grain. United
 441 States Department of Agriculture – Grain Inspection, Packers, and
 442 Stockyards Administration: Washington, D.C. Available online at
 443 <http://151.121.3.117/pubs/primer.pdf>. Accessed on 23 April 2011.

444 USDA, 2010. Energy Balance for the corn ethanol Industry. Agricultural
 445 Economic Report No. 846. United States Dep. Agric. Washington, DC.

446 Uwituze, S., Parsons, G.L., Shelor, M.K., Depenbusch, B.E., Karges, K.K.,
 447 Gibson, M.L., Reinhardt, C.D., Higgins, J.J., Drouillard, J.S., 2010.
 448 Evaluation of dried distillers grains and roughage source in steam-flaked
 449 corn. J. Anim. Sci. 88, 258-274.

450 Van Soest, P. J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber,
 451 neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to
 452 animal nutrition. J. Anim. Sci. 24, 834–843.

453 Zinn, R. A., 1988. Comparative feeding value of supplemental fat in finishing
 454 diets for feedlot steers supplemented with and without monensin. J.
 455 Anim. Sci. 66, 213–227.

456 Zinn, R. A., 1990. Influence of steaming time on site digestion of flaked corn in
 457 steers. J. Anim. Sci. 68, 776-781.

458 Zinn, R. A., 1994. Effects of excessive supplemental fat on feedlot cattle growth
 459 performance and digestive function. Prof. Anim. Sci. 10, 66-72.

460 Zinn, R. A., Owens, F.N., 1986. A rapid procedure for purine measurement and
 461 its use for estimating net ruminal protein synthesis. Can. J. Anim. Sci. 66,
 462 157-166.

463

464

465

466

467

468

469

470

Table 1

Ingredients and composition of experimental diets fed to lambs.

Item	Dried distillers grains plus solubles level, %			
	0	10	20	30
Ingredient composition, % (DM basis)				
Cracked corn	74.50	64.50	54.50	44.50
Dried distillers grains with solubles	0.00	10.00	20.00	30.00
Soybean meal	5.00	5.00	5.00	5.00
Sudan grass hay	10.00	10.00	10.00	10.00
Tallow	1.50	1.50	1.50	1.50
Molasses	6.10	6.10	6.10	6.10
Chromium oxide	0.40	0.40	0.40	0.40

Trace mineral salt ^a	2.50	2.50	2.50	2.50
Chemical composition, (DM basis) ^b				
Crude protein, %	11.94	12.61	13.66	15.48
Lipids, %	3.59	4.68	5.66	5.95
NDF, %	16.04	19.75	22.55	26.12
Gross energy, Mcal/kg	4.17	4.24	4.38	4.40
Calculated nutrient composition ^c				
Net energy, Mcal/kg				
Maintenance	2.07	2.07	2.07	2.07
Gain	1.41	1.41	1.41	1.41
Calcium, %	0.85	0.88	0.90	0.92
Phosphorus, %	0.32	0.36	0.41	0.46

^a Mineral premix contained: CP, 52%; Calcium, 28%; Phosphorous, 0.55%; Magnesium, 0.58%; Potassium, 0.65%; NaCl, 15%; vitamin A, 1100 IU/kg; vitamin E, 11 UI/kg.

^b Dietary composition was determined by analyzing subsamples collected and composited throughout the experiment. Accuracy was ensured by adequate replication with acceptance of mean values that were within 5% of each other.

^c Based on tabular net energy (NE), Ca and P values for individual feed ingredients (NRC, 1985) with the exception of supplemental fat, which was assigned NE_m and NE_g values of 6.03 and 4.79, respectively.

471

472

Table 2

Composition and density of DDGS and cracked corn used and corresponding tabular values (NRC, 2000).

Item	DDGS	Cracked ^a corn	DDGS (NRC, 2007)	DRC ^b (NRC, 2007)
DM, %	94.2	91.4	90.0	88.0

CP, %	26.3	9.1	29.0	9.0
NDF, %	42.7	10.3	43.0	9.0
Starch, %	4.3	69.4	--	--
Lipids, %	9.0	3.6	10.6	4.3
Ash, %	5.6	1.7	6.0	2.0
Gross energy, Mcal/kg	4.87	4.16	--	--
Density, g/L	454	702		

473 ^a White corn

474 ^b Yellow corn

475

476

477

Table 3

Influence of supplementation level of dried distillers grains plus solubles on characteristics of ruminal and total tract digestion in cannulated lambs (25.9 kg LW).

Item	DDGS in diet					Contrast P-value		
	0%	10%	20%	30%	SEM	Linear	Quadratic	Cubic
Ruminal pH	6.08	6.15	6.25	6.33	0.11	0.15	0.99	0.92
Intake, g/d								
DM	679	685	684	689	23	0.79	0.98	0.91
OM	634	641	639	646	21	0.74	0.99	0.87
NDF	109	135	154	180	4	<0.01	0.95	0.49
N	13.0	13.8	14.9	17.1	0.44	<0.01	0.20	0.74

Starch	319	272	250	236	9.9	<0.01	0.15	0.75
Lipids	24.4	32.1	38.7	40.9	1.1	<0.01	0.06	0.19
GE, Mcal/d	2.83	2.90	2.99	3.03	0.10	0.17	0.87	0.86
Flow to duodenum, g/d								
OM	351	379	382	393	16	0.13	0.64	0.68
NDF	67	64	77	102	4.5	<0.01	0.02	0.83
Starch	38	36	32	31	5.2	0.30	0.93	0.93
N	14.6	15.6	16.2	17.3	0.92	0.07	0.93	0.83
Nonammonia N	13.9	14.8	15.4	16.4	0.86	0.08	0.99	0.76
Microbial N	8.26	8.67	8.41	7.63	0.96	0.63	0.56	0.97
Feed N	5.61	6.15	7.00	8.73	0.47	<0.01	0.25	0.79
Lipids	31.0	41.9	44.5	46.6	3.3	0.02	0.18	0.55
Ruminal digestion, %								
OM	57.5	54.4	53.4	50.8	0.9	<0.01	0.83	0.41
NDF	38.5	52.2	49.7	43.2	2.7	0.38	<0.01	0.37
Starch	88.2	86.9	87.1	87.0	1.7	0.66	0.75	0.83
Feed N	56.8	55.7	53.2	48.7	2.9	0.09	0.57	0.97
MN efficiency ^a	23.3	22.9	21.6	19.4	1.9	0.17	0.65	0.98
N efficiency ^b	1.07	1.08	1.02	0.96	0.05	0.12	0.45	0.82
Postruminal digestion, % leaving abomasum								

OM	66.6	65.7	65.3	62.6	2.1	0.22	0.68	0.77
NDF	19.2	9.7	14.3	27.8	2.9	0.06	0.01	0.69
Starch	90.7	90.7	90.8	89.8	1.7	0.74	0.88	0.79
N	75.1	77.2	76.1	77.1	1.0	0.29	0.61	0.28
Lipids	80.3	78.7	77.9	78.4	2.7	0.88	0.56	0.72
Fecal excretion, g/d								
DM	142	154	130	173	7.6	0.03	0.90	0.71
OM	117	130	133	147	8.3	0.04	0.95	0.60
NDF	53	58	67	74	3.7	<0.01	0.72	0.71
Starch	3.4	3.3	3.1	3.3	0.57	0.83	0.77	0.85
N	3.6	3.5	3.8	3.9	0.14	0.10	0.39	0.48
Lipids	5.9	9.2	10.0	9.9	1.29	0.07	0.24	0.77
GE, Mcal/d	586	636	658	727	36.7	0.04	0.81	0.67
Total-tract digestion,								
%								
DM	78.8	77.5	76.7	74.9	1.1	0.04	0.88	0.75
OM	81.5	79.7	79.3	77.3	1.2	0.06	0.94	0.60
NDF	51.1	57.2	57.1	59.2	2.3	0.06	0.42	0.44
Starch	98.9	98.8	98.8	98.6	0.2	0.36	0.89	0.81
N	72.2	74.4	74.9	76.9	1.0	0.02	0.96	0.50
DE, %	79.3	78.0	78.0	76.1	1.0	0.08	0.79	0.55
DE diet, Mcal/kg	3.31	3.30	3.41	3.34	0.05	0.37	0.53	0.25

478 ^a Duodenal microbial N, g kg⁻¹ OM fermented in the rumen.

479 ^b Duodenal non-ammonia N, g g⁻¹ N intake.