

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**

---

MAESTRÍA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL



“Evaluación del valor nutricional de los granos secos de destilería más solubles (DDGS) en dietas de crecimiento- finalización de novillos Holstein: Comportamiento productivo y características de la canal.”

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA

**EDUARDO PONCE CASTRO**

DIRECTORA DE TESIS:

**NOEMI GPE. TORRENTERA OLIVERA**

COMITÉ TUTORIAL:

**RICHARD A. ZINN**  
**MARTÍN FCO. MONTAÑO GÓMEZ**

ESTA TESIS FUE REALIZADA BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR INDICADO, HA SIDO APROBADA POR EL MISMO Y ACEPTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCION ANIMAL**

Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California. Abril de 2009.

---

**Dra. Noemí Guadalupe Torrentera Olivera**  
Directora de Tesis

---

**Dr. Richard Avery Zinn**  
Sinodal

---

**Dr. Martín Francisco Montaña Gómez**  
Sinodal

## RESUMEN

Ciento cuarenta y cuatro novillos Holstein (112 kg) fueron usados en un experimento de 305 d. para evaluar el efecto de la sustitución parcial de maíz en hojuela por DDGS en dietas de crecimiento- finalización sobre el comportamiento productivo y características de la canal. Al inicio los novillos fueron pesados y asignados aleatoriamente a cada uno de los siguientes tratamientos: 1) 0% DDGS, 2) 10% DDGS, 3) 20% DDGS y 4) 30% DDGS en sustitución de maíz en hojuelas (6 novillos/corral, 6 corrales/tratamiento) con diseño de bloques completos al azar. Las dietas experimentales fueron a base de 77.73% de maíz en hojuela y 11.60% de zacate sudan. Durante el primer periodo (126 d.) conforme se incrementó el nivel de sustitución de maíz en hojuelas en la dieta por DDGS se observó una respuesta lineal en la GDP ( $P<.028$ ), cuadrática en la eficiencia alimenticia ( $P<.017$ ) y en el contenido de EN de la dieta ( $P<.046$ ). Al evaluar el ciclo de crecimiento-finalización completo, se observó un incremento en la GDP (efecto cúbico,  $P<.05$ ), la cual tuvo su máximo valor con la inclusión de 20% de DDGS. La conversión alimenticia y el consumo de materia seca no fueron afectados por los tratamientos. La EN de la dieta observada/ esperada presento un efecto cubico ( $P<.05$ ), el valor máximo se registro con el nivel de sustitución de 20% de DDGS, el cual fue de 104%. El nivel de inclusión de DDGS provocó una respuesta cubica sobre el peso de la canal ( $P<.031$ ), y RPC ( $P<.05$ ). Las características de la canal no fueron afectadas por los tratamientos. La sustitución parcial del maíz en hojuela con DDGS en dietas de crecimiento- finalización de novillos holstein mejoró la GDP y

eficiencia, porque incremento la energía neta de la dieta sin afectar el consumo, reflejándose en el incremento del peso de la canal y el área del ojo de la costilla. Con un nivel de sustitución del 20% se observó la mayor respuesta en ganancia diaria de peso, conversión alimenticia, peso final, energía neta de la dieta, peso de la canal caliente y área del ojo de la costilla.

## SUMMARY

One hundred forty four Holstein steers (112 kg,) were used in a randomized complete block design experiment to evaluate effect increasing levels of dry distillers grains plus solubles (DDGS) in substitution by steam-flaked corn in growing-finishing (305 d) diets on steer performance and carcass characteristics. Steers were blocked by initial weight and randomly assigned within weight groupings to following treatments 1) 0% DDGS, 2) 10% DDGS, 3) 20% DDGS and 4) 30% DDGS. The basal diet contained 77.73% of steam-flaked corn and 11.60% of sudangrass hay. During first period (126 d) linear and quadratic response were observed in ADG ( $P < .028$ ), Gain/feed intake ( $P < .017$ ) and dietary NE ( $P < .046$ ) with increasing levels of DDGS and 20% inclusion being the most improved. Overall 305 d trial, cubic trends were observed for final BW ( $P < .031$ ) and ADG ( $P < .047$ ) with increasing levels of DDGS and 20% inclusion being the most improved. DMI and Gain/feed intake were not changed with DDGS treatment level. Hot carcass weight and longissimus area showed cubic effect ( $P < .05$ ) where the most improved treatment were 20% level, while KPH fat showed quadratic effect ( $P < .05$ ) with increasing levels of DDGS and 10% inclusion being the most improved.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	iii
<b>SUMMARY</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>CONTENIDO</b> .....	v
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	vii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
Proceso para la obtención de etanol y los co-productos.....	4
Principales co-productos del Proceso de Molienda Seco .....	8
Granos de destilería húmedos con solubles (WDGS) .....	8
Solubles condensados de destilería (CDS) .....	9
Granos Secos de Destilería con Solubles (DDGS) .....	10
Caracterización de los Granos Secos de Destilería con Solubles (DDGS).....	11
Composición nutricional de los DDGS.....	12
Características físicas de los DDGS.....	18
Utilización de los DDGS en dietas de crecimiento- finalización para novillos alimentados en confinamiento .....	21
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	28
Experimento 1. Prueba de Comportamiento Productivo. ....	28
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	32
Experimento 1. Prueba de comportamiento productivo. ....	32
<b>CONCLUSIONES</b> .....	41
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	42

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
1	Composición nutricional de los DDGS de diversas fuentes	14
2	Composición de las dietas experimentales (Exp. 1)	31
3	Influencia de los granos secos de destilería más solubles sobre el desarrollo de novillos Holstein y Energía Neta de la dieta (exp. 1)	33
4	Influencia de los granos secos de destilería más solubles sobre las características de la canal de novillos holstein	40

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Esquema del proceso de molienda seco	5
2	Producción histórica de DDGS en los EUA	11

## INTRODUCCIÓN

El incremento en la demanda de etanol como aditivo empleado en el combustible y/o como un combustible alternativo, ha causado una transformación radical en el crecimiento de la industria destiladora de maíz a lo largo de los Estados Unidos de América (Bhadra et al., 2007). De acuerdo con la Renewable Fuels Association, la producción de maíz en el 2006 fue de 10.7 billones de bushels, de los cuales 1.8 billones fueron procesados por biorefinerías para producir alcohol etílico y emplearlo como aditivo en el combustible fósil (E-85). De esta forma, la industria del etanol procesa el 17% de la producción total de maíz de EEUU.

En 2006, la producción de etanol en EEUU fue cercana a los 18.5 billones de litros, cantidad que fue procesada por 110 biorefinerías de dicho país (RFA, 2007). Aunado a la producción de etanol, se estima que la cantidad de granos secos de destilería más solubles (DDGS, por sus siglas en inglés) estuvo entre 12 y 13 millones de toneladas métricas durante ese mismo año. Adicionalmente, la cantidad de maíz utilizado por la industria del etanol se ha incrementado 17 veces en los últimos 20 años, así mismo, la cantidad de co-productos de esta industria ha ido en aumento.

Existen dos mecanismos que se emplean para la producción de etanol, los cuales difieren en el proceso aplicado a los cereales, estos procesos son llamados: 1) Proceso de Molienda Húmedo y 2) Proceso de Molienda Seco.

De acuerdo con la Renewable Fuel Association, el 82% del etanol que se produce anualmente en EEUU proviene del Proceso de Molienda Seco. Este tipo de procesado consiste en: molido de grano, cocinado, conversión de almidón a dextrosa, fermentación, y destilado del grano (Rosentrater, 2006), y los principales co-productos que se obtienen son los granos de destilería y pueden ser en forma seca (DDG, por sus siglas en ingles) o húmeda (WDG, por sus siglas en inglés).

Por lo tanto, los granos secos de destilería representan el producto residual de la fermentación de maíz en el proceso de producción de etanol. Este co-producto es generalmente mezclado con los solubles o “miel de maíz” y consecuentemente son secados obteniéndose así los DDGS (Rosentrater, 2006). En 2007, el 42% de la producción total de granos de destilería (DG) en EEUU fue utilizada por la industria productora de carne, de los cuales el 64% fue en forma seca o DDGS. (RFA, 2007).

En Baja California, en los años 2007 y 2008, el inventario de ganado bovino engordado por empresas locales fue de 1'500,000. Este inventario podría representar una demanda importante para la utilización de DDGS en dietas de crecimiento y finalización en sustitución de maíz, ya que su valor energético, composición química, aceptabilidad, disponibilidad, y costo, hacen de este, un ingrediente que pudiera abaratar los costos de producción y mejorar los parámetros productivos.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la sustitución parcial de maíz en hojuela por DDGS en dietas de crecimiento-finalización sobre el comportamiento productivo y características de la canal de ganado Holstein.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### **Proceso para la obtención de etanol y los co-productos.**

La producción de etanol utilizando cereales como materia prima, involucra la conversión de almidón en alcohol etílico mediante un proceso fermentativo. En la actualidad, además de la utilización de granos de maíz para la producción de DDGS se emplean otros cereales tales como sorgo, trigo, cebada y mezclas de estos cereales. (Stock et al., 2000).

El proceso (molienda seco) empleado para la producción de etanol y consecuentemente de sus co-productos es descrito por Stock et al., 2000; Weigel, 1997; RFA, 2007 y Kalscheur et al., 2008, el cual, en lo sucesivo, será descrito.

Este proceso (figura 1) comienza cuando el grano de maíz u otra fuente de almidón, es triturado hasta la formación de harina, dicha harina es mezclada con agua para formar una masa a la cual se le agregan enzimas amilolíticas.

Posteriormente, es calentada para poner al almidón en solución y permitir la acción de las enzimas y convertir el almidón en dextrosa (azúcar simple). En esta etapa, se agrega amoníaco para controlar el pH de la masa y servir como nutriente para las levaduras que posteriormente serán adicionadas.

La masa que fue procesada en altas temperaturas, es enfriada y transferida a los depósitos de fermentación donde las levaduras son adicionadas y la conversión de azúcar a etanol y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) comienza. El proceso de fermentación generalmente dura alrededor de 40 a 50 horas. Durante esta parte del proceso, la masa es agitada y conservada fresca con la finalidad de facilitar la actividad de las levaduras.

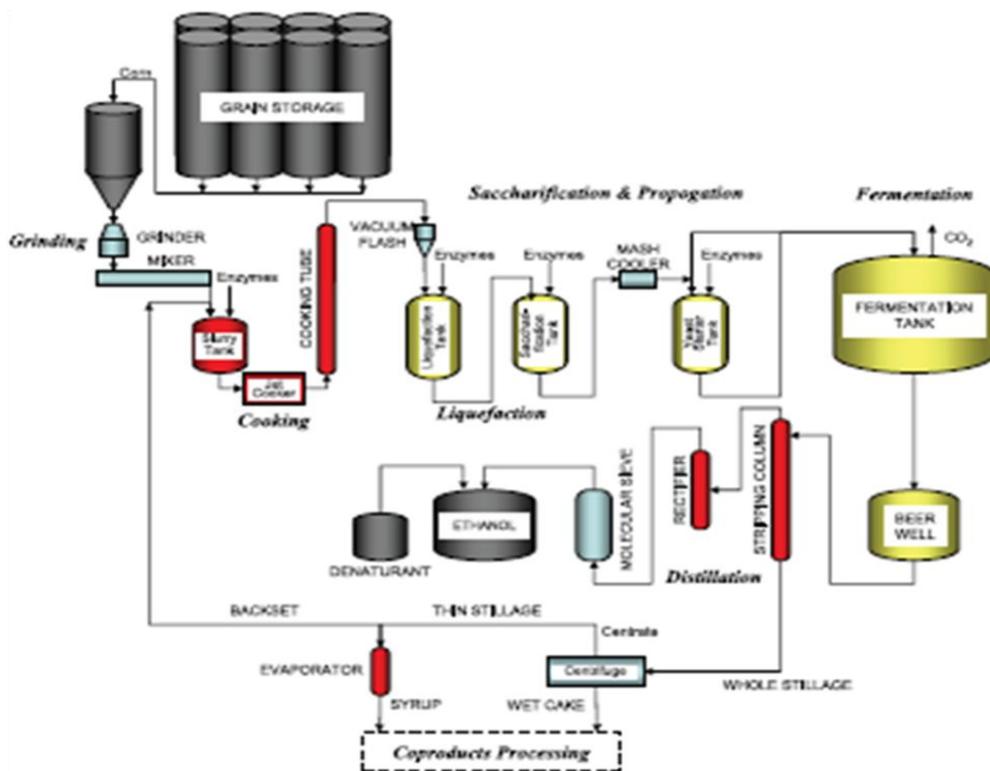


Figura 1. Esquema del Proceso de Molinada Seca.

Una vez concluida la fermentación, la “cerveza” resultante es enviada a las columnas destiladoras donde el etanol y la mayor cantidad de agua son extraídos. Las partículas del grano en la masa pueden o no ser separadas del

líquido antes de ser destiladas. Procesar la masa sin separación previa de partículas, generalmente resulta en un rendimiento más alto de alcohol por bushel fermentado.

Después de la destilación, el líquido restante es llamado destilado entero o resultante el cual contiene de 5 a 10% de MS. Dicho destilado es enviado a:  
1) centrifuga ó 2) matiz/prensa, donde los residuos del grano son separados.

Los residuos del grano removidos del destilado pueden ser vendidos como granos de destilería húmedos (WDG) o pueden ser secados y vendidos como granos secos de destilería (DDG). La fracción líquida (5 a 10% de MS) restante es llamada destilado delgado. El destilado delgado el cual puede constituir el 40% del residuo total de MS contiene finas partículas del grano y células de levaduras. Este producto es evaporado para producir “jarabe de maíz” el cual contiene de 20 a 35% de MS.

El remanente del grano y el jarabe de maíz son mezclados y secados para producir los granos secos de destilería más solubles (DDGS). EL CO<sub>2</sub> liberado durante la fermentación es capturado y empleado en la elaboración de bebidas carbonatadas, así como en la fabricación de hielo seco. El alcohol etílico resultante es mezclado con 5% de gasolina como agente desnaturizador para evitar su empleo como bebida alcohólica y enviado a las refinerías donde se utilizará para la elaboración del combustible E-85 (85% etanol- 15% gasolina).

Las enzimas empleadas en la conversión de almidón a dextrosa son de tipo  $\alpha$  y  $\beta$  amilasa, sin embargo, estas son destruidas a causa de las temperaturas que se emplean en el proceso de conversión, además de ser inactivadas por acción bacteriana durante el proceso fermentativo. Lo anterior no tiene consecuencias desfavorables durante el proceso ya que no importa cuánto tiempo actúen sobre el almidón, no todo el sustrato podrá ser convertido en azúcar; usualmente la conversión inicial no excede el 70 u 80%.

Una segunda conversión será necesaria para poder convertir la mayor cantidad de almidón en azúcar, y será esta la que determine el rendimiento de alcohol. Una vez que las levaduras sean adicionadas a la masa la conversión de azúcar en etanol y  $\text{CO}_2$  comienza, aun así las enzimas continuarán procesando el almidón restante.

En el proceso de conversión de azúcar a etanol se emplean levaduras de la especie *Saccharomyces cerevisiae*, por su rápida y eficiente acción de conversión y por su habilidad de sobrevivir a dos de las tres siguientes situaciones: 1) altas temperaturas, 2) altas concentraciones de alcohol y 3) acidez excesiva. A lo largo del proceso, la contaminación de la materia prima es indeseable, las principales fuentes de contaminación son: utilizar granos contaminados, a causa de un almacenamiento ineficiente, equipo defectuoso y la entrada de aire en el proceso de fermentación. La contaminación bacteriana

puede resultar en la formación de ácido acético, el cual, a niveles tan bajos como 0.3% detendrán la fermentación de los granos, y por consiguiente el rendimiento de etanol será afectado negativamente.

Los DDGS son producto de un proceso diseñado para la producción de etanol, por consecuencia, el producto final varía en apariencia y en su composición química debido a factores como la utilización de diferentes granos, tipo de fermentación (continua vs. lotes) (Spiehs, 2002) y el procesamiento empleado para el secado. (Cromwell, 1993)

### **Principales co-productos del Proceso de Molienda Seco**

En la industria destiladora de etanol, se producen diferentes co-productos que son, granos de destilería, granos de destilería con solubles y los solubles de destilería condensados comúnmente llamados “miel de maíz”. Los granos de destilería con solubles (DG) son el principal producto resultante, y estos pueden ser en forma húmeda (WDGS) y seca (DDGS).

#### **Granos de destilería húmedos con solubles (WDGS)**

Los granos de destilería húmedos con solubles representan el remanente del grano después de la fermentación y extracción del alcohol etílico mezclado con los solubles. Generalmente este co-producto es resultado de la mezcla de 65% granos de destilería con 35% de solubles o “miel de maíz”.

Tradicionalmente este co-producto contiene 30 a 35% de materia seca y su composición nutricional puede variar considerablemente.

Las dietas de ganado para carne que contienen de 10 a 20% de este co-producto presentan una gran homogeneidad, puesto que las partículas secas de los demás ingredientes se adhieren a este co-producto. Por lo tanto, se minimiza la separación de los ingredientes y se evita la selección de alimento por el ganado. Este co-producto presenta dos retos 1) mejorar métodos que prolonguen su vida de anaquel y 2) desarrollar tecnologías que ayuden a facilitar su manejo dentro de las unidades pecuarias.

### **Solubles condensados de destilería (CDS)**

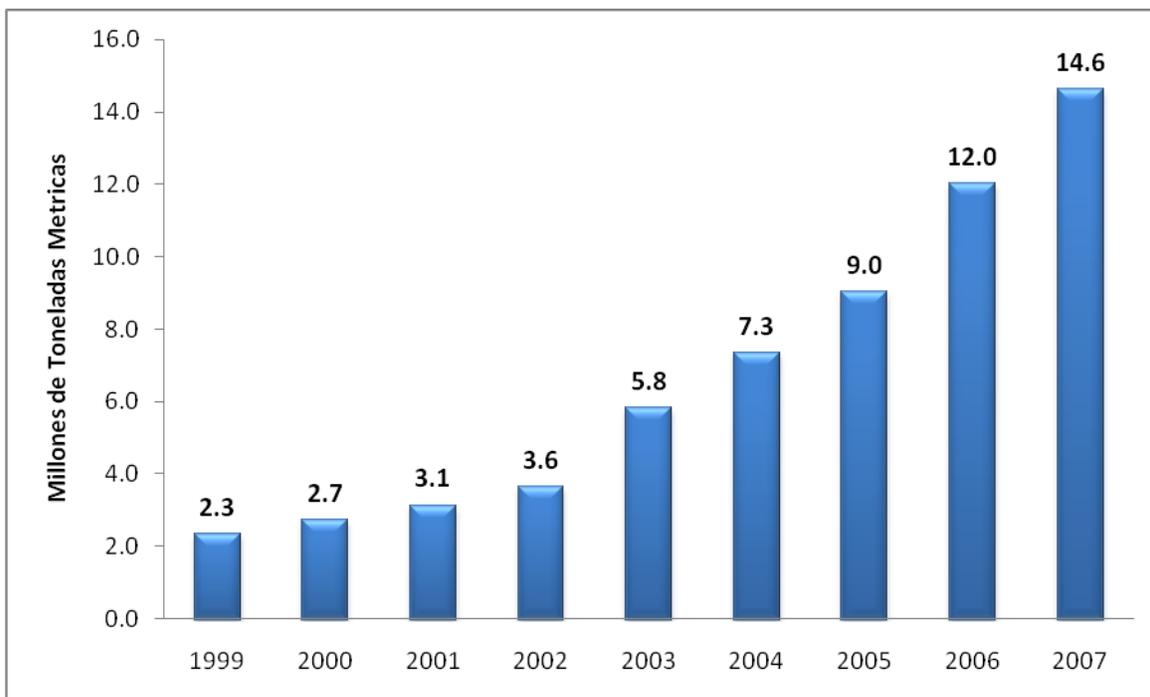
Este co-producto es comúnmente llamado “miel de maíz” y su contenido de materia seca es similar al de los WDGS (27 a 35%). Comparado con el resto de los co-productos de etanol, los solubles contienen mayor cantidad de grasa (consecuente mayor energía), bajo en carbohidratos fermentables y alta proporción de minerales como el fósforo, potasio y azufre. De tal manera, que entre más solubles sean adicionados a los granos de destilería se aumentará la cantidad de grasa y de minerales en el producto resultante.

## **Granos Secos de Destilería con Solubles (DDGS)**

Este co-producto está elaborado por la combinación y secado de los granos de destilería húmedos y los solubles, en proporciones que va a depender de la casa productora. En lo sucesivo se ampliará la información concerniente a este co-producto dado su protagonismo en el actual proyecto de investigación.

Cerca del 98% de los DDGS producidos en los EEUU, provienen de biorefinerías productoras de etanol para la oxigenación de combustibles fósiles. El 1 o 2% del DDGS restante provienen de plantas productoras de alcohol etílico destinado a bebidas. (Shurson, 2006). En la figura 2 se muestra la producción histórica de DDGS en EEUU, en la cual se observa el incremento de este co-producto.

Figura 2. Producción Histórica de DDGS en Estados Unidos de América. Fuente RFA, 2007



### **Caracterización de los Granos Secos de Destilería con Solubles (DDGS)**

Generalmente el contenido de almidón en maíz es de 72% (Zinn, 1991; Zinn, 1993a; Zinn, 1993b; Larson et al., 1993), 4.0% de grasa (NRC, 1996), 9.1% de proteína cruda (Belyea et al., 2004; Lemenager et al., 2006), 10.8% de fibra (NRC, 1996), 46% de NDF (NRC, 1996) y 16% de humedad (Lardy, 2003). Durante la producción de etanol, el almidón es convertido en alcohol etílico y los constituyentes del grano restantes forman parte de los co-productos. (Lardy, 2003).

Los DDGS representan por tanto, el producto final de la fermentación del almidón de los cereales llevada a cabo por enzimas y levaduras seleccionadas para producir alcohol etílico y dióxido de carbono. (Sexten, 2006; Shurson,

2006). Como resultado de la remoción del almidón, aproximadamente 1/3 del grano original es recuperado en el destilado residual, con lo cual, la concentración de los nutrientes presentes en el grano se incrementa aproximadamente tres veces. (Weigel et al., 1997; Stock et al., 2000; Weiss et al., 2007).

La disponibilidad y el uso de los diferentes cereales empleados van a depender de la ubicación geográfica de las biorefinerías y de la época del año. Como resultado de los factores anteriores, la composición nutricional de los DDGS puede variar entre las casas productoras y entre las épocas del año (Spiehs, 2002; Shurson, 2006).

### **Composición nutricional de los DDGS**

Spiehs, 2002 y Shurson, 2006, mencionan que la variabilidad en el contenido químico de los DDGS dentro y entre las biorefinerías y entre las diferentes fuentes de literatura publicadas existentes es variable. Esta variabilidad va a estar en función, principalmente, del tipo de grano utilizado, el proceso utilizado en la producción de etanol, eficiencia del destilado y fermentación, así como de los solubles adicionados a los granos de destilería (Tjardes y Wright., 2002; Kalscheur et al., 2008).

Los valores del contenido nutricional de los granos de destilería se pueden encontrar citados en los libros publicados por la National Research Council (e.g *Nutrient Requirements of Beef Cattle, 1996* y *Nutrient Requirements of Dairy, 2001*). Sin embargo, en la actualidad las nuevas tecnologías aplicadas a la obtención de etanol y de sus co-productos han ido evolucionando, como consecuencia de ello, la composición química de los DDGS han cambiado también, por ello varios investigadores (Spiehs et al., 2002; Belyea et al., 2004; Rosentrater, 2006; Bhadra et al., 2007) han hecho publicaciones recientes, que aportan valores actualizados. En el cuadro 1, se presentan datos de su contenido nutricional.

La última edición de la National Research Council para bovinos de carne (NRC, 1996), enlista el valor promedio de las siguientes fracciones: materia seca 91%, NDF 46%, NDT 88%, Proteína Cruda 29.5%, de la cual 27.19% es Proteína Degradable en Rumen (PDR) y el otro 72.81% es la Proteína no degradable en Rumen (PIR), grasa 10.4%, calcio 0.32%, fósforo 0.83 y azufre 0.40%.

Así mismo, se enlista los valores de los aminoácidos esenciales los cuales son: Metionina 1.20%, Lisina 2.06%, Arginina 4.15%, Treonina 3.12%, Leucina 9.07%, Isoleucina 2.78%, Valina 5.24%, Histidina 1.82%, Fenilalanina 4.20%, y Triptófano 1.64%, todos los aminoácidos están expresados como porcentaje de la PIR. En el caso de los valores energéticos se enlistan los

siguientes: Energía de Mantenimiento (EM, Mcal/kg) 3.18, Energía Neta de mantenimiento (ENm, Mcal/kg) 2.18, y la Energía Neta de ganancia (ENg, Mcal/kg) 1.50.

Tabla 1. Composición nutricional de los DDGS de diversas fuentes.

<b>Fracción</b>	<b>NRC, (1996)</b>	<b>NRC, (2001)</b>	<b>Spiels (2002)</b>	<b>Holt (2004)</b>	<b>Cromwell (1993)</b>	<b>Belyea (2004)</b>
Materia seca	91	90.2	88.9	90.0	90.5	...
Proteína cruda	29.5	29.7	30.2	33.3	26.9	31.3
NDF	46	38.8	42.1	42.7	35.1	...
Almidón	...	...	...	...	...	5.1
Grasa	10.3	10.0	10.9	13.1	...	11.9
Ceniza	5.2	5.2	5.8	4.1	4.8	4.6
Ca	0.32	0.22	0.06	...	...	...
P	0.83	0.83	0.89	0.74	...	...
Mg	0.33	0.33	0.33	0.31	...	...
K	1.07	1.10	0.94	0.91	...	...
S	0.40	0.44	0.47	0.48	...	...
NDT	88	79.5	...	...	...	...

Anteriormente se hizo mención de los factores que inciden en la variación de la composición nutricional de los DDGS, los rangos reportados por distintos investigadores van en el caso de la materia seca de 87.1 a 92.7%, para Proteína Cruda van desde 23.4 a 34%, en cuanto a la PIR, los rangos publicados van desde 47 a 57%; sin embargo, Kleinschmit et al., 2007; determino en base a cinco fuentes de DDGS que la PIR tiene un rango de 59.1 a

71.7%. El rango de la grasa es de 9.7 a 13.9%, para la NDF el rango es de 44 a 53.1%.

Los DDGS son una buena fuente de minerales como el Ca, P, y S; el contenido de estos elementos va a estar en función de la localización geográfica de las biorefinerías productoras, la época del año en que fueron cosechados los cereales, y de algunas prácticas que se realizan en la elaboración del etanol.

En caso particular del fósforo el rango en que se presenta es de 0.65 a 0.95% (Lemenager et al., 2006; Weiss et al., 2007; Spiels et al., 2002; Holt y Pritchard, 2004) se debe considerar que una concentración alta de este elemento conlleva a un aporte superior a las necesidades de los animales y por tanto, la concentración de P en las heces será alta, lo cual dificulta su eliminación y acarrea problemas ambientales.

La variación en la concentración de azufre es de 0.33 a 0.48% (Lardy, 2003; Lemenager et al., 2006; Spiels et al., 2002; Holt y Pritchard, 2004), generalmente se debe evitar que la cantidad de DDGS adicionada a la dieta no exceda los requerimientos de azufre de los animales, si esto ocurre se puede presentar una producción excesiva de sulfuro de hidrogeno en el rumen, el cual causa una deficiencia de tiamina y consecuentemente se presenta la polio encefalomalacia, que es un desorden del sistema nervioso central en el cual los animales bajan su productividad y puede ocasionarles la muerte. (Lardy, 2003)

La variación en la concentración de Ca es de 0.06 a 0.32%, la precaución que se debe tener al adicionar DDGS a la dieta, es mantener la proporción de Ca y P de 2:1.

En general, la concentración de minerales en los DDGS va a ser variable. Esto dificultará la formulación de dietas usando este co-producto, las cuales pudieran contener cantidades excesivas de distintos elementos o cantidades que estén por debajo de las necesidades de los animales. Por ello se deben implementar estrategias que permitan tener un mejor balance de minerales en la dieta suplementando cantidades que estén de acuerdo a los requerimientos de los animales.

### **Factores que inciden en la variabilidad nutricional de los DDGS**

La variación de la composición nutricional está presente en todos los alimentos, por lo cual la utilización de alimentos que son altamente variables puede reducir la rentabilidad de la unidad pecuaria ya sea por el incremento de los costos de producción o por la reducción en la productividad animal. (Weiss et al., 2007)

Los co-productos del etanol han cambiado significativamente desde los años 80's, cuando estos eran producidos por plantas productoras de whiskey. Desde mediados de los años 90's se observó un crecimiento significativo en la

industria del etanol empleado como combustible. La nueva generación de DDGS ha mejorado su composición química con respecto a los DDGS producidos anteriormente (Klascheur et al., 2008).

Existen publicaciones (U.S Grains Council, 2007, Cromwell et al., 1993, Spiels et al., 2002, Weiss et al., 2007 y Klascheur et al., 2008) que hacen referencia a los factores más importantes que afectan la variabilidad del contenido químico de los DDGS, los cuales se resumen a continuación:

### **Materia prima**

- Tipo y variedad de grano utilizado
- Calidad de los granos (condiciones edafológicas, fertilización, ambiente, método de producción y de cosecha).

### **Factores durante el proceso**

- Procesamiento del grano (duración y grado de molido)
- Cocinado (temperatura y duración, tiempo de enfriamiento)
- Conversión (tipo, cantidad y calidad de malta producida)
- Fermentación (calidad y cantidad de levaduras, tiempo, acidez)
- Cantidad de solubles adicionados a los DG.

Dentro de los factores antes mencionados, quizá los factores más impactantes en la composición química de los DDGS sean la variación en el

contenido químico de los granos utilizados, la proporción de solubles (Condensed Distillers Solubles) agregados a los granos de destilería, y la temperatura y tiempo de secado.

### **Características físicas de los DDGS**

Las propiedades físicas de los DDGS han sido evaluadas con el objetivo de establecer una relación con su contenido químico y valor nutricional de este co-producto. Al igual que las características químicas, las propiedades físicas de los DDGS tales como el color, olor, densidad aparente y tamaño de partícula son variables entre las biorefinerías. (Cromwell, 1993; Shurson, 2007).

Bhadra et al., (2007); Rosentrater, (2006), son investigadores que han aportado datos sobre las propiedades físicas de los DDGS, las cuales son esenciales para mejorar el diseño del equipo empleado en la elaboración, procesamiento, y para facilitar el manejo y almacén de este co-producto.

Entre las propiedades físicas importantes destaca el contenido de humedad el cual es recomendable que sea menor a 12% para facilitar su almacén, manejo, reducir costos de transportación y su preservación contra agentes microbiológicos. Bhadra et al., (2007), reportan valores entre 3.54% y 8.21% con una media de 5.07%. Estos datos contrastan con los reportados con Rosentrater, (2006), quien reporta valores entre 13.2% y 21.2%.

La diferencia entre los valores reportados es debido al tiempo de secado a que fueron sometidas las diferentes muestras de DDGS; esto muestra que el tiempo de calentado así como la temperatura utilizada es variable entre las diferentes biorefinerías.

La actividad acuosa se refiere a la cantidad de agua disponible para ser utilizada por los microorganismos y agentes químicos, y es por tanto un parámetro para determinar el grado de susceptibilidad del material al deterioro.

Los materiales que no presentan agua libre ( $a_w = 0.0$ ) están exentos del deterioro por microorganismos, mientras que los materiales con elevada cantidad de agua libre ( $a_w = 1.0$ ) están en riesgo de presentar un deterioro rápido. Por lo anterior, Bhadra et al., (2007), reportan valores para este parámetro que van de 0.42 a 0.53, mientras que Rosentrater, (2006), reporta valores de 0.53 a 0.63.

El Color en los DDGS puede variar desde ligeramente dorado hasta marrón oscuro, estas diferencias se deben al color del grano empleado, la cantidad de solubles añadidos a los granos de destilería y el tiempo y la temperatura de secado utilizados. Shurson. (2007).

Cromwell, 1993; Bhadra et al., (2007); Rosentrater, (2006), evaluaron el color de DDGS provenientes de diferentes plantas productoras de etanol destinado

tanto a la producción de whiskey así como de combustible, las escalas que utilizaron fueron “L” que mide la luminosidad del material, donde 0 = oscuro y 100 = luminoso, “a” que mide la intensidad del color rojo y “b” que mide la intensidad del color amarillo en el material.

Para la escala **L**, Bhadra et al., (2007), reportan valores que van desde 36.6 a 50.2, para la escala **a** presenta valores entre 5.2 y 10.8, y para **b** los valores van desde 12.5 a 23.4. Estos datos difieren con los reportados por Rosentrater, (2006) donde reporta valores para la escala **L** de 41.8 a 48.8, para la escala **a** el rango es de 8.3 a 9.7 y para la escala **b** el rango es de 19.2 a 23.5.

Los valores antes mencionados muestran que el rango de color de las muestras de DDGS evaluadas presentaba coloración que va desde el dorado claro hasta el marrón oscuro. Así mismo, Cromwell et al., 1993, menciona que las muestras de DDGS de decoloración oscura presentaban menor valor nutritivo comparado con aquellos DDGS de coloración dorada. A demás, del color evaluó el olor donde determinó que el olor ahumado pertenencia a los DDGS de coloración oscura, posiblemente debido a un sobrecalentamiento en el proceso de secado.

Por último, se ha determinado que el tamaño medio de partícula para los DDGS es aproximadamente 700  $\mu\text{m}$ , pero el rango de este parámetro es extremadamente grande: varía de 73 a 1.217  $\mu\text{m}$  entre diversos orígenes. La

densidad aparente varía entre 368 y 561 kg/m<sup>3</sup> entre los diferentes tipos de DDGS. El pH medio es de 4,1; pero puede estar entre 3,6 y 5,0. (Shurson, 2007)

### **Utilización de los DDGS en dietas de crecimiento- finalización para novillos alimentados en confinamiento**

Buckner et al., 2007, realizaron un estudio donde evaluaron la inclusión de 10, 20, 30 y 40% de DDGS en la dieta comparado con la dieta testigo (0% DDGS). El objetivo fue determinar el nivel óptimo de inclusión de DDGS en sustitución de maíz roado, así como también determinar el valor energético de la dieta basado en el desarrollo de novillos cruzados y las características de la canal. En el primer periodo de 22 días, se observó una tendencia cuadrática sobre la ganancia diaria de peso ( $P<0.06$ ) y conversión alimenticia ( $P<0.10$ ), siendo los tratamientos 20% y 30% DDGS los valores más altos para Ganancia Diaria de Peso (1.70 kg/d, ambos) y 20%DDGS el valor más bajo para eficiencia alimenticia (2.32).

El Consumo de Materia Seca no fue afectado por ninguno de los tratamientos con DDGS. Durante el periodo de finalización (145 días) la tendencia cuadrática prevaleció para la GDP ( $P<0.08$ ), siendo el nivel de 20% DDGS el valor más alto (1.68 kg/d) de igual manera el peso final presentó una tendencia similar ( $P<0.04$ ) donde el tratamiento 20% DDGS presenta el peso más elevado.

Todos los tratamientos presentaron mayores pesos finales comparado con la dieta testigo. A lo largo de la prueba de finalización el CMS no fue afectado por los tratamientos, sin embargo, hubo una mejora en la eficiencia alimenticia con la inclusión del 20% de DDGS.

En cuanto a las características de la canal, solo el peso de la canal caliente fue afectado por los tratamientos, donde los novillos alimentados con 20% de DDGS presentaron las canales más pesadas. Ninguna otra característica fue afectada por los tratamientos. El valor de ENg de las dietas conteniendo DDGS fue mayor que la dieta testigo, donde la inclusión de 10 y 20% DDGS presentó un 25% mayor ENg que la dieta testigo y la inclusión de 30 y 40% DDGS declinaron su valor a 8% con respecto a la dieta testigo.

Peter et al., 2000, condujeron un experimento donde utilizaron vaquillas de la raza Simental X Angus y evaluaron tres co-productos de destilería, gluten de maíz seco (DCGF), Granos secos de destilería (DDG) y Fibra modificada de maíz (MCF). Las dietas fueron a base de maíz quebrado suplementadas con uno de los tres co-productos de destilería en cantidades de 23% de DCGF, 15% DDG y 15% MCF.

Así mismo las dietas fueron formuladas para ser isoenergéticas e isoproteicas y cubrir o exceder las recomendaciones de la NRC, (1996). Las vaquillas tuvieron pesos iniciales similares, así mismo el CMS no difirió entre los

tratamientos a lo largo de la prueba. La GDP fue incrementada 39% ( $P < 0.001$ ) por vaquillas alimentadas con DDG y 29% ( $P < 0.01$ ) por vaquillas alimentadas con DCGF comparadas con aquellas alimentadas con MCF. La conversión alimenticia fue mejorada en 43% ( $P < 0.001$ ) y 34% ( $P < 0.01$ ) por DDG y DCGF, respectivamente, contra el tratamiento MCF.

Las vaquillas alimentadas con 23% de DCGF y 15% DDG tuvieron GDP y conversión alimenticia similares. Estos resultados indican que tanto el DCGF y DDG son fuentes efectivas de energía y proteína en dietas para vaquillas con alimentación restringida.

Firkins et al., 1985, realizaron una serie de experimentos donde utilizaron granos de destilería húmedos (WDG) y DDG en pruebas de crecimiento y finalización. Para la prueba de crecimiento se utilizaron 84 novillos de la raza Charoláis con un peso inicial de 274 kg. La dieta testigo contenía 7.8% de Harina de Soya la cual fue sustituida en su totalidad por DCGF, WCGF o DDG, y adicionados a la dieta en los siguientes porcentajes en base a materia seca: 34.9%, 34.9% y 17.4%, respectivamente.

Los novillos que fueron alimentados con DDG ganaron más rápido (3-26%,  $P < 0.05$ ) y fueron más eficientes (14-35%,  $P < 0.05$ ) que aquellos alimentados con las demás dietas. Esto se debió probablemente a la baja degradabilidad de la proteína contenida en el DDG, resultando en un mayor suministro de aminoácidos hacia el intestino. La prueba de finalización fue

realizada con 132 novillos cruzados con un peso inicial promedio de 310 kg. Con el objeto de determinar la eficacia de los WDG como fuente energética. La dieta basal consistió en 13% de heno y 72% de maíz.

Los tratamientos consistieron en la adición de 25 y 50% de WDG reemplazando la totalidad de la harina de soya y parte del maíz de la dieta basal. Los resultados muestran un incremento lineal ( $P < 0.08$ ) de 4 y 11% en la GDP con la inclusión de 25 y 50% de WDG. Así mismo, la eficiencia alimenticia fue mejorada linealmente 10 y 11% para 25 y 50% de WDG, respectivamente, con respecto a la dieta testigo. Estos resultados demuestran que los WDG pueden utilizarse en forma efectiva como fuente energética para ganado en engorda intensiva en periodo de finalización con niveles tan altos como 50% de la dieta (base seca).

Al-Suwaiegh et al., 2002, realizaron una prueba de finalización de 127 días con 60 novillos añeros Angus rojo con un peso inicial de 360 kg para comparar el valor energético de granos de destilería en forma húmeda de maíz y sorgo (WCDG y WSDG, respectivamente) y el efecto de los tratamientos sobre las características de la canal en dietas a base de maíz roado. Se observó que no hubo efecto sobre el CMS en las dietas conteniendo granos de destilería de ambas fuentes comparado con la dieta testigo, sin embargo, el CMS de los novillos alimentados con WSDG fue mayor ( $P < 0.02$ ) que los animales alimentados con WCDG. En comparación con los novillos alimentados con la

dieta testigo, aquellos alimentados con WCDG y WSDG ganaron más rápido (10.1%,  $P<0.01$ ) y fueron más eficientes (8.5%,  $P<0.01$ ). Los novillos del tratamiento WSDG no ganaron más peso ( $P<0.01$ ) pero no fueron menos eficientes que aquellos alimentados con WCDG.

En base al desarrollo de los novillos, el valor de ENg de las dietas suplementadas con WCDG y WSDG fue en promedio, 10.2% mayor que el contenido energético de la dieta testigo. Los valores calculados de ENg para las dietas con granos de destilería fueron 11.7% (WCDG) y 8.6% (WSDG) mayores comparado con la dieta testigo. Las canales procedentes de novillos alimentados con granos de destilería de maíz o sorgo fueron más pesadas ( $P<0.05$ ) comparadas con las canales de la dieta testigo. Así mismo, la grasa dorsal ( $P<0.01$ ) y el grado de rendimiento ( $P=0.07$ ) fueron mayores para las canales de animales suplementados con granos de destilería comparado con aquellos alimentados con la dieta testigo. Adicionalmente, los novillos alimentados con WSDG tendieron a tener ( $P<0.10$ ) mayor grasa dorsal que aquellos alimentados con WCDG. El rendimiento en canal, área de la chuleta, marmoleo y el grado de calidad fue similar entre los diferentes tratamientos.

Larson et al., 1993, realizaron dos pruebas de finalización para determinar el valor energético de los granos de destilería de maíz en forma húmeda y del destilado delgado. En el primer experimento (replicado sobre dos años) se utilizaron 80 novillos añeros cruzados en cada año, (año 1, peso inicial

= 317 kg; Año 2, peso inicial = 340 kg). Los tratamientos consistieron en una dieta a base de maíz roado suplementada con tres niveles de WCDG y destilado delgado (5.2, 12.6 y 40%, en base seca). La suplementación proteica de la dieta testigo fue una combinación 50:50 de harina de soya y urea. El nivel más bajo de WCDG reemplaza la misma cantidad de proteína cruda que es aportada por la harina de soya en la dieta testigo. El nivel medio de WCDG reemplaza la cantidad de proteína cruda que es aportada por la harina de soya y la urea en la dieta testigo. El nivel más alto de WCDG fue diseñado para ser la fuente de energía y de proteína. Los resultados muestran que en el primer experimento, los novillos añeros fueron 5, 10 y 20% más eficientes (efecto lineal,  $P < 0.01$ ), mientras que en segundo experimento los novillos fueron 2, 6 y 14% más eficientes (efecto lineal,  $P < 0.01$ ) cuando fueron alimentados con las dietas suplementadas con granos de destilería en forma húmeda a niveles de 5.2, 12.6 y 40% respectivamente. Los granos de destilería en forma húmeda ofrecidos en niveles de 40% de la dieta, aumentaron un 63% y 26% la ENg comparado con el valor energético del maíz en los experimentos 1 y 2, respectivamente.

Los valores energéticos aquí publicados pueden no ser explicados por el incremento en la digestibilidad de la dieta, pero pueden ser explicados por un conjunto de factores (e.g. reducción de acidosis, mejoramiento en la eficiencia energética, etc.) que en conjunto pudieron aumentar el contenido energético de los WCDG.

Ham et al., 1994, compararon los granos de destilería húmedo (WDB) con uno de tres compuestos (en base a su contenido de ADIN) de DDGS. El WDB y los DDGS sustituyeron 40% del maíz rolado de la dieta de finalización. El ganado que fue alimentado con WDB y DDGS gano más rápido ( $P<0.05$ ) y fue 19 y 10% más eficientes ( $P<0.05$ ), respectivamente que el ganado alimentado con la dieta testigo. Aunque las ganancias de peso fueron similares, el ganado alimentado con WDB consumió menos alimento ( $P<0.05$ ) y fue más eficiente ( $P<0.10$ ) que el ganado alimentado con DDGS. La cantidad de ADIN en los DDGS no afecto la eficiencia de ganancia. Los WDB y cualquier compuesto de DDGS tuvieron 39 y 21% mas ENg, respectivamente que la dieta testigo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El cuidado y las técnicas de manejo de los animales en las pruebas experimentales fueron aprobados por el Comité de cuidados y uso de animales de la Universidad de California-Davis.

### **Experimento 1. Prueba de Comportamiento Productivo.**

Para evaluar el valor nutricional de diferentes niveles de DDGS en sustitución de maíz en hojuelas sobre el comportamiento productivo y características de la canal, se utilizaron 144 novillos de la raza Holstein originarios de Tulare Ca. (Ted Greidonas, Calf-Tec), en una prueba de crecimiento-finalización de 305 días de duración.

El experimento inicio el día 6 de septiembre de 2007, a su llegada a la estación experimental de la Universidad de California (DREC), los novillos fueron aretados, descornados, castrados, y vacunados contra IBR (TSV-2, Pfizer, New York, NY), Clostridiosis (Fortress 7®, Pfizer, New York, NY) y Pasteurella hemolítica (One Shot® Pfizer, New York, NY), tratados contra parásitos internos y externos (Ultramectin®, RXV Products, Kansas City, MO) se administro 1,000,000 UI de vitamina A (Vita-jec® A&D “500”, RXV Products, Kansas City, MO). Durante la prueba, los novillos fueron implantados a los 126 y 238 d con Revalor-S (Intervet Inc., Millsboro, DE).

Se registró el peso individualmente y fueron asignados por peso a 24 corrales (6 novillos/corral). Seis corrales fueron asignados aleatoriamente a cada uno de los siguientes tratamientos: 1) Testigo (0% DDGS), 2) 10% DDGS, 3) 20% DDGS y 4) 30% DDGS en sustitución de maíz en hojuelas. Las dimensiones de los corrales utilizados son: 43 m<sup>2</sup> de área con 22 m<sup>2</sup> de sombra y 2.4 m lineales de comedero.

La composición de las dietas experimentales se muestra en la Cuadro 2. Estas dietas fueron preparadas en intervalos de una semana y almacenadas en cajas de madera localizadas en frente de cada corral para posteriormente ser servidas a los animales dos veces por día en horarios de 0600 y 1400 h, ofreciendo el 50% en la mañana y 50% en la tarde. El consumo de alimento fue *ad libitum*.

Al finalizar la engorda, los novillos fueron trasladados al rastro National Beef ubicado en Brawley California a 30.4 km del DREC, en donde fueron sacrificados observando procedimientos humanitarios. Se registro el peso de la canal caliente y después de 48 h. de enfriamiento ( $\pm 4^{\circ}\text{C}$ ) se realizaron las siguientes mediciones: 1) área del ojo del músculo *longissimus dorsi*, entre la 12<sup>va</sup> y 13<sup>va</sup> costilla; 2) grasa dorsal, y 3) grasa del riñón, pelvis y corazón (RPC) expresado como porcentaje del peso de la canal.

Para evaluar el comportamiento productivo de los novillos, la unidad experimental fue cada corral. Asumiendo que el primer factor determinante de la energía de ganancia es la ganancia de peso, se aplicó la siguiente ecuación:  $EG = ((0.0557 BW^{.75}) ADG^{1.097})$ , donde EG es la energía diaria depositada expresada en Mcal/d, (NRC, 1984).

La energía requerida para mantenimiento (EM; Mcal/d) fue calculada por la siguiente ecuación:  $EM = .084 BW^{.75}$  (Garrett, 1971). De las estimaciones derivadas para energía requerida para mantenimiento y ganancia, la energía neta para mantenimiento (**ENm**) y la energía neta para ganancia (**ENg**) de las dietas se obtuvo por medio de la fórmula cuadrática:  $x = (-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac})/2c$ , donde  $a = -.41EM$ ,  $b = .877EM + .41DMI + EG$ , y  $c = -.877DMI$ ;  $EN_g = .877NE_m - .41$  (Zinn y Shen, 1998).

Para calcular el desarrollo de los novillos, el peso corporal fue reducido 4% para descontar el peso de la digesta. El peso final se ajustó al peso de la canal, dividiendo los pesos de la canal por el promedio del rendimiento en canal.

Este experimento se analizó bajo un diseño de bloques completos al azar. Los efectos de los tratamientos fueron evaluados para componentes lineal, cuadrático y cúbico utilizando polinomios ortogonales (Hicks, 1973).

Cuadro 2. Composición de las Dietas Experimentales.

Ingrediente	Nivel de Granos Secos de Destilería más Solubles, %			
	0	10	20	30
Composición de la Dieta, % (Base MS)				
Maíz en hojuela	77.73	67.93	58.25	48.55
Granos Secos de Destilería	0	10	20	30
Zacate Sudan	11.50	11.57	11.63	11.69
Grasa Amarilla	1.76	1.77	1.78	1.79
Melaza	5.86	5.91	5.92	5.97
Óxido de Magnesio	.18	.14	.11	.08
Piedra caliza	1.39	1.34	1.29	1.21
Urea	1.23	.95	.67	.36
Minerales traza <sup>a</sup>	.35	.35	.35	.35
Rumensin 80 <sup>b</sup>	+	+	+	+
Composición nutricional <sup>c</sup> , base MS				
Energía Neta, Mcal/kg				
Mantenimiento	2.19	2.17	2.16	2.16
Ganancia	1.52	1.51	1.50	1.49
Proteína cruda	12.6	13.6	14.8	15.8
Extracto etéreo	5.53	6.14	6.76	7.38
FDN	14.9	18.6	22.3	26.1
Calcio	.69	.70	.70	.70
Fósforo	.28	.33	.39	.44
Potasio	.71	.78	.86	.93
Magnesio	.29	.29	.29	.29
Azufre	.13	.16	.19	.21

<sup>a</sup> Composición de los minerales traza: CoSO<sub>4</sub>, .068%; CuSO<sub>4</sub>, 1.04%; FeSO<sub>4</sub>, 3.57%; ZnO, 1.24%; MnSO<sub>4</sub>, 1.07%; KI,.052%; y NaCl, 92.96%.

<sup>b</sup> 125.6 mg/kg.

<sup>c</sup> Basada en los valores individuales de ingredientes publicados por el NRC, 1984 con la excepción de la grasa, a la cual se le asignó ENm y ENg de 6.03 y 4.79, respectivamente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Experimento 1. Prueba de comportamiento productivo.

El efecto de los tratamientos sobre el comportamiento productivo de los novillos y la Energía Neta (EN) de la dieta se presenta en el Cuadro 3. Durante el primer periodo (126 días) se observó una respuesta lineal ( $P < 0.05$ ) sobre la GDP, y cuadrática sobre la eficiencia alimenticia y contenido de EN de la dieta ( $P < 0.05$ ), conforme se aumenta el nivel de sustitución de maíz en hojuelas en la dieta por DDGS. El valor máximo para estas variables se presentó en el nivel de 20% de DDGS. Ham et al., (1994) mencionan que los animales alimentados con 15.23% de WDG y DDGS en dietas de crecimiento tuvieron 4.6 y 4.8% mayor ( $P < .001$ ) GDP comparado con aquellos alimentados con la dieta testigo a base de maíz rolado. Firkins et al., (1985) encontraron que la sustitución de 17.4% de DDG por ensilaje de maíz y harina de soya, aumento ( $P < .05$ ) la GDP en un 26% y 35% la eficiencia alimenticia en novillos en etapa de crecimiento, lo cual lo atribuyen a una baja degradación ruminal de la proteína de los DDG (Firkins et al., 1984), reflejado en un mayor suministro de aminoácidos hacia el intestino delgado. No se observó efecto de los tratamientos ( $P > .10$ ) sobre el consumo de materia seca durante este periodo. En cuanto a la EN de la dieta ( $EN_m$  y  $EN_g$ ) se observa una respuesta cuadrática ( $P < .05$ ) donde el valor máximo para estas variables ocurre con el nivel de 20% de DDGS. Este incremento energético podría explicar que aun y cuando el CMS no fue diferente entre los tratamientos,

el ganado haya presentado mayores ganancias diarias de peso y eficiencia alimenticia al mismo nivel de inclusión.

Cuadro 3. Influencia del nivel de Granos Secos de Destilería más Solubles sobre el desarrollo de novillos Holstein y Energía Neta (EN) de la dieta.

Parámetro	Nivel de Granos Secos de Destilería más Solubles, %				EE
	0	10	20	30	
Días en Prueba	305	305	305	305	-
Réplica	6	6	6	6	-
Peso vivo, kg <sup>a</sup>					
Inicial	112	112	112	111	.465
Final <sup>b,c</sup>	570	575	594	576	5.12
GDP, kg/d					
1- 126 d <sup>d</sup>	1.26	1.31	1.36	1.32	0.03
127- 305 d	1.67	1.67	1.73	1.67	0.03
1- 305 d <sup>b,c</sup>	1.50	1.52	1.58	1.52	0.02
CMS, kg/d					
1- 126 d	5.50	5.48	5.58	5.52	0.09
127- 305 d	9.23	9.43	9.44	9.52	0.16
1- 305 d	7.69	7.80	7.84	7.87	0.11
GDP/CMS, kg/kg					
1- 126 d <sup>c,d</sup>	.229	.239	.244	.240	.003
127- 305 d	.181	.177	.183	.175	.004
1- 305 d	.195	.195	.201	.194	.003
Energía Neta de la Dieta, Mcal/kg					
Mantenimiento					
1- 126 d <sup>c,d</sup>	1.82	1.88	1.91	1.88	.020

127- 305 d	2.26	2.23	2.33	2.22	.038
1- 305 d	2.17	2.17	2.25	2.16	.029
Ganancia					
1- 126 d <sup>c,d</sup>	1.18	1.24	1.27	1.24	.018
127- 305 d	1.57	1.55	1.63	1.54	.033
1- 305 d	1.49	1.49	1.56	1.48	.026
EN de la Dieta observado/esperado					
Mantenimiento					
1- 126 d <sup>c,d</sup>	.83	.86	.88	.87	.009
127- 305 d	1.03	1.03	1.07	1.03	.017
1- 305 d	.99	1.00	1.04	1.00	.013
Ganancia					
1- 126 <sup>c,d</sup>	.78	.82	.85	.83	.012
127- 305	1.04	1.03	1.09	1.03	.022
1- 305	.99	.99	1.05	1.00	.017

<sup>a</sup> Los pesos inicial y final fueron reducidos 4% para descontar el contenido intestinal.

<sup>b</sup> Efecto Cúbico (P<0.05)

<sup>c</sup> Efecto Cuadrático (P<0.05)

<sup>d</sup> Efecto Lineal (P<0.05)

Para el periodo comprendido entre los días 127 y 305, no se observó efecto de los tratamientos (P>.10) sobre las variables estudiadas. Sin embargo, los tratamientos provocaron una respuesta cúbica sobre la EN de la dieta (P<.05); el valor más alto se registro con el nivel de 20% de DDGS en la dieta.

Analizando el comportamiento productivo durante el crecimiento-finalización, se observó un incremento en la GDP (efecto cúbico, P<.05),

conforme se aumenta el nivel de inclusión de DDGS a la dieta. La conversión alimenticia no fue afectada por los tratamientos a lo largo de la prueba. Consistentemente, la GDP tuvo su máximo valor con la inclusión de 20% de DDGS a lo largo del experimento. Ham et al., (1994) reportan un incremento ( $P<.05$ ) de 15.3 y 16% en la GDP cuando el 40% del maíz rolado fue sustituido por WDG y DDGS, respectivamente. Similarmente, Firkins et al., (1985) publican incrementos lineales ( $P<0.08$ ) de 4 y 11% en la GDP con la inclusión de 25 y 50% de WDG con respecto a la dieta testigo. Vander Pol et al., (2006a) evaluaron la inclusión de diferentes niveles de WDG desde 0 a 50% en dietas de finalización, donde encontraron una respuesta cuadrática en la GDP y sugieren que el nivel óptimo de inclusión de granos de destilería en forma húmeda es de 30 a 40% en dietas de finalización a base de maíz rolado. Así mismo, Larson et al., (1993) observaron una respuesta cuadrática ( $P<.08$ ) sobre la GDP y reportan que el valor máximo se presentó en los niveles de 12.6 y 40% de WDG sustituyendo al maíz rolado en dietas de finalización. Adicionalmente, Al-Suwaiegh et al., (2002), demostraron que la GDP fue mayor ( $P<.03$ ) en 9 y 13.3% cuando se sustituyó el 30% del maíz rolado por granos de destilería en forma húmeda de maíz y sorgo, respectivamente.

En contraste con los resultados de la presente investigación y de los autores antes citados, Lodge et al., (1997) no encontraron diferencias significativas en las GDP de animales alimentados con un nivel de 40% de granos de destilería de sorgo en forma húmeda y seca en dietas de finalización

a base de maíz rolado. Los granos de destilería utilizados en esta prueba fueron resultado de una combinación de 20% maíz y 80% sorgo. Está documentado (Rooney y Pflugfelder, 1986; Wester et al., 1992) que el maíz posee mayor grado de digestión que el grano de sorgo. Zinn, (1991) estimó la  $EN_m$  del sorgo en hojuela la cual fue 8% menor con respecto al maíz tratado bajo el mismo procesamiento, el cual al ser incluido en dietas de novillos en finalización sustituyendo al maíz en hojuela produjo un decremento en la GDP (6.1%;  $P < .05$ ). Por lo anterior, el sorgo empleado en el proceso fermentativo para la producción de los granos de destilería utilizados por Lodge et al., (1997) puede explicar el bajo valor nutricional de dicho co-producto y por consiguiente el nulo efecto de los tratamientos sobre la ganancia diaria de peso.

Sin embargo, Daubert et al., (2005) sustituyeron 8, 16, 24, 32 y 40% del maíz en hojuela por granos de destilería derivados de sorgo en forma húmeda, lo cual produjo una respuesta cuadrática sobre la GDP y observaron que los valores máximos se registraron entre los niveles 8 y 16%. Así mismo, Depenbusch et al., (2008b) no encontraron efecto ( $P \geq .07$ ) sobre la GDP al sustituir 13% de DDGS producido tanto en forma tradicional como fraccionada, comparado con la dieta testigo a base de maíz en hojuela. El mismo efecto en la GDP observaron Depenbusch et al., (2008a) cuando sustituyeron 25% de WDGS por maíz en hojuelas en dietas de finalización.

Vander Pol et al., (2006b) reportan que los animales alimentados con 30% de WDGS en sustitución de maíz rolado ganaron más peso que aquellos alimentados con 30% de WDGS en sustitución de maíz en hojuelas. Investigaciones realizadas por Barajas y Zinn, (1998) y Zinn et al., (1998) muestran que el valor nutricional del maíz en hojuelas es de 10 a 16% mayor que el maíz rolado. Así mismo, la National Research Council (1996) reporta que el maíz en hojuelas tiene 4 y 5% más  $EN_m$  y  $EN_g$ , respectivamente, comparado con el maíz rolado.

Si bien, el aporte energético del maíz en hojuelas es mayor que el maíz rolado, se debe considerar que las dietas de finalización hechas a base de maíz en hojuelas presenta una mayor digestión ruminal de almidon comparadas con el maíz rolado (Zinn et al., 1995; Huntington, 1997; Barajas y Zinn, 1998), por lo que el pH del rumen frecuentemente es observado en niveles inferiores a 6.0 (Zinn et al., 1995; Corona et al., 2006; Sindt et al., 2006). Bajo estas condiciones de acidez ruminal, los organismos ruminales que degradan la fibra dietética se inactivan. Si a demás se considera la cantidad de fibra presente en los granos de destilería la cual no es digerida en el rumen debido al bajo pH ruminal resulta en un bajo valor alimenticio en dietas a base de maíz en hojuela. Lo cual afectaría el valor alimenticio de los granos de destilería empleados por Vander Pol et al., (2006b).

El CMS no fue afectado por los tratamientos durante los 305 días de prueba. Buckner et al., (2007) reportan resultados similares cuando sustituyeron 10, 20, 30 y 40% del maíz rolado por DDGS en dietas de finalización. Estos resultados concuerdan con lo reportados en otros estudios: Depenbusch et al., (2008a) mencionan que el CSM no fue afectado por la inclusión de 25% de DDGS a la dieta en sustitución de maíz en hojuelas. Similarmente, Ham et al., (1994) no observaron diferencias en el CMS cuando sustituyeron 40% del maíz rolado por WDGS y por DDGS.

Lodge et al., (1997) y Al- Suwaiegh et al., (2002) no reportan diferencias en el CMS cuando los novillos fueron alimentados con DDGS así como granos de destilería en forma húmeda derivados de sorgo. En contraste, Larson et al., (1993) y Daubert et al., (2005) muestran un decremento lineal en el CMS cuando granos de destilería en forma húmeda derivados de sorgo y de maíz fueron incluidos a la dieta en niveles de 0 a 40%.

La mayoría de los resultados publicados en la literatura concuerdan con los observados en el presente estudio, donde se demuestra que la sustitución de niveles bajos de granos de destilería en forma húmeda y seca, no afectan el consumo de alimento en pruebas de crecimiento y finalización.

El efecto de los tratamientos sobre las características de la canal se muestra en el Cuadro 4. El nivel de inclusión de DDGS provocó una respuesta

cubica sobre el peso de la canal ( $P < .031$ ), y RPC ( $P < .05$ ). Consistente con el comportamiento en la GDP, la canal de novillos alimentados con la dieta conteniendo 20% de DDGS fue 3% más pesada comparada con 10 y 30 % de inclusión en la dieta.

Buckner et al., (2007) reportan una tendencia cuadrática ( $P < .10$ ) sobre el peso de la canal caliente, donde la inclusión de 20% de DDGS en sustitución de maíz rolado presentó canales más pesadas con respecto a los demás tratamientos.

La adición de DDGS provocó una respuesta cúbica ( $P < .024$ ) sobre el área del ojo de la costilla. Con 20% de DDGS en la dieta, el área del músculo longissimus se incremento 8.4% respecto a la adición de 10 y 30% de DDGS. El nivel de DDGS en la dieta no afectó ( $P > .10$ ) el rendimiento en canal, grasa dorsal, y el grado de rendimiento.

Por su parte Corrigan et al., (2007) observaron un efecto lineal producido por la adición de DDGS sobre el peso de las canales y un efecto cuadrático sobre la grasa dorsal en novillos alimentados con una dieta a base de maíz rolado.

En contraste, Larson et al., (1993) y Lodge et al., (1997) mencionan que la inclusión de granos de destilería no tiene efecto sobre las características de la

canal. Así mismo, Depenbusch et al., (2008a), reportan que la sustitución de 13% de DDGS por maíz en hojuelas no afectó ninguna característica de la canal.

Cuadro 4. Influencia de los Granos Secos de Destilería más Solubles sobre las Características de la canal de novillos Holstein (Exp. 1)

Parámetro	Nivel de Granos Secos de Destilería más Solubles, %				EE
	0	10	20	30	
Peso de canal, kg <sup>a,b</sup>	352.53	355.91	367.46	356.45	3.17
Rendimiento en canal, %	59.14	59.00	59.80	59.68	.35
Área del ojo de la costilla, <sup>a</sup> cm <sup>2</sup>	86.63	84.39	92.08	84.37	2.47
Grasa dorsal, cm	.72	.75	.78	.68	.06
RPC, % <sup>b,c</sup>	2.54	2.74	2.70	2.61	.08
Grado de rendimiento, %	51.26	50.76	51.38	50.97	.32
Grado de calidad	4.13	4.40	4.69	4.32	.20

<sup>a</sup> Efecto cúbico (P<.05)

<sup>b</sup> Efecto cuadrático (P<.05)

<sup>c</sup> Grasa de riñón, pelvis y corazón como porcentaje del peso de la canal.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados de la presente investigación, se concluye que:

- La sustitución parcial del maíz en hojuela con DDGS mejoró el comportamiento productivo, la energía de neta dieta ( $EN_m$  y  $EN_g$ ) y algunas características de la canal de los novillos Holstein durante el periodo de crecimiento y finalización, siendo a un nivel del 20% cuando se observó la mayor ganancia diaria de peso, conversión alimenticia, peso final, energía neta de la dieta, peso de la canal caliente y área del ojo de la costilla.
- El consumo de materia seca no es afectado con la sustitución de maíz en hojuela por DDGS en ninguna fase del experimento. Por otra parte, el sustituir el maíz en hojuela a un nivel de 30% por DDGS produce una reducción en el comportamiento productivo, características de la canal y energía neta de la dieta.

## LITERATURA CITADA

- Al-Suwaiegh, S., K. C. Fanning, R. J. Grant, C. T. Milton, y T. J. Klopfenstein. 2002. Utilization of distiller's grains from the fermentation of sorghum or corn in diets for finishing beef and lactating dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 80:1105-1111.
- AOAC. 1975. *Official Methods of Analysis* (12th Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Barajas, R. y R. A. Zinn. 1998. The feeding value of dry-rolled and steam-flaked corn in finishing diets for feedlot cattle: influence of protein supplementation. *J. Anim. Sci.* 76:1744-1752.
- Belyea, R. L., K. D. Rausch, y M. E. Tumbleson. 2004. Composition of corn and distillers dried grains with solubles from dry grind ethanol processing. *Biores. Technol.* 94, 293-298.
- Bergen, W. G., D. B. Purser, and J. H. Cline. 1968. Effect of ration on the nutritive quality of rumen microbial protein. *J. Anim.Sci.* 27:1497-1501.
- Bhadra, R., K. Muthukumarappan, y K. A. Rosentrater. 2007. Characterization of chemical and physical properties of Distillers Dried Grain with Solubles (DDGS) for Value Added Uses. ASABE Annual Meeting paper No. 077009.
- Buckner, C. D., T. L. Mader, G. E. Erickson, S. L. Colgan, K. K. Karges, y M. L. Gibson. 2007. Optimum Levels of Dry Distillers Grains with Solubles for Finishing Beef Steers. Nebraska Beef Report. University of Nebraska-Lincoln Extension. MP90
- Corrigan, M. E., G. E. Erickson, T. J. Klopfenstein, K. J. Vandeer Pol, M. A. Greenquist, M. K. Luebbe. 2007. Effect of corn processing and wet distillers grains inclusion level in finishing diets. Nebraska Beef Report. University of Nebraska-Lincoln Extension. MP90:33-35.
- Corona, L., F. N. Owens, y R. A. Zinn. 2006. Impact of corn vitreousness and processing on site and extent of digestion by feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 84:3020-3031.
- Cromwell, G. L., K. L. Herkelman, y T. S. Stahly. 1993. Physical, chemical, and nutritional characteristics of distillers dried grains with soluble for chicks and pigs. *J. Anim. Sci.* 71:679-686.

- Daubert, R. W., J. S. Drouillard, E. R. Loe, J. J. Sindt, B. E. Deppenbusch, J. T. Fox, M. A. Greenquist, y M. E. Corrigan. 2005. Optimizing use of wet sorghum distiller's grains with solubles in flaked-corn finishing diets. KSU Progress Report. 943:15-21.
- Deppenbusch, B. E., E. R. Loe, M. J. Quinn, M. E. Corrigan, M. L. Gibson, K. K. Karges, y J. S. Drouillard. 2008b. Corn Distiller's Grains with Solubles Derived from a Traditional or Partial Fractionation Process: Growth Performance and Carcass Characteristics of Finishing Feedlot Heifers. *J. Anim. Sci.* 86:2338-2343.
- Deppenbusch, B. E., J. S. Drouillard, E. R. Loe, J. J. Higgins, M. E. Corrigan, and M. J. Quinn. 2008a. Efficacy of monensin and tylosin in finishing diets based on steam-flaked corn with and without corn wet distillers grains with soluble. *J Anim Sci* 2008 86: 2270-2276.
- Firkins, J. L., L. L. Berger, y G. C. Fahey. Y N. R. Merchen. 1984. Ruminant Nitrogen Degradability and Escape of Wet and Dry Distillers Grains and Wet and Dry Corn Gluten Feeds. *J. Dairy Sci.* 67: 1936-1944.
- Firkins, J. L., L. L. Berger, y G. C. Fahey. 1985. Evaluation of wet and dry distiller's grains and wet and dry corn gluten feeds for ruminants. *J. Anim. Sci.* 60:847-860.
- Garret, W. 1971. Energetic efficiency of beef and dairy steers. *J. Anim. Sci.* 31: 452-456.
- Goering, H. K., and P. J. Van Soest. 1970. Forage fiber analysis. Apparatus, reagents, procedures and some applications. *Agric. Handbook No. 379.* ARS, USDA, Washington, DC.
- Ham, G. A., R. A. Stock, T. J. Klopfenstein, E. M. Larson, D. H. Shain, y R. P. Huffman. 1994. Wet corn distiller's byproducts compared with dried corn distillers grains with soluble as a source of protein and energy for ruminants. *J. Anim. Sci.* 72:3246-3257.
- Hicks, C. R. 1973. *Fundamental Concepts in the Design of Experiments.* Holt, Rinehart and Watson, New York.
- Hill, F. N., and D. L. Anderson. 1958. Comparison of metabolizable energy and productive energy determinations with growing chicks. *J. Nutr.* 64:587-596.
- Holt, S. M. y R. H. Pitchard. 2004. Composition and nutritive value of corn co-products from dry milling ethanol plants. *South Dakota Beef Report,*

BEEF 2004-10. Disponible en:  
[http://asr.sdstate.edu/extbeef/2004/BEEF\\_2004-01\\_Pritchard.pdf](http://asr.sdstate.edu/extbeef/2004/BEEF_2004-01_Pritchard.pdf).

Huntington G. B. 1997. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. J. Ani. Sci. 75: 852- 867.

Kalscheur, K., A. García., K. Rosentrater, y C. Wright. 2008. Ethanol Coproducts for Ruminant Livestock Diets. South Dakota Coopertive Extension Service. FS- 947.

Kleinschmit, D. H., J. L. Anderson, D. J. Schingoethe, K. F. Kalscheur, y A. R. Hippen. 2007. Ruminant and Intestinal Degradability of Distillers Grains plus Solubles Varies by Source. J. Dairy Sci. 90:2909-2918.

Lardy. G. 2003. Feeding Coproducts of the Ethanol Industry to Beef Cattle. North Dakota State University and University Extension. AS- 1242. Disponible en: <http://www.ag.ndsu.nodak.edu>

Larson, E. M., R. A. Sotck, T. J. Klopfenstein, M. H. Sindt, y R. P. Huffman. 1993. Feeding value of wet distiller's byproducts for finishing ruminant. J. Anim. Sci. 71:2228-2236.

Lemenager, R., T. Applegate, M. Cleays, S. Donkin, T. Johnson, S. Lake, M. Neary, S. Radcliffe, B. Richert, A. Schinckel, M. Schutz, y A. Sutton. 2006. The value of Distiller's Grains as a livestock Feed. Purdue Extension. ID-330. Disponible en: <http://www.ces.purdue.edu/bioenergy>.

Lodge, S. L. R. A. Stock, T. J. Klopfenstein, D. H. Shain, y D. W. Herold. 1997. Evaluation of corn and sorghum distiller's byproducts. J. Anim. Sci. 75:37-43.

NRC. 1984. Nutrient Requirements of Beef Cattle. (6<sup>th</sup> Rev. Ed.) Natl. Acad. Press, Washington, DC.

NRC. 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7<sup>th</sup> rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

NRC, 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle (7<sup>a</sup> Ed.) National Academy Press, Washington, D.C.

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 coproducts on growth performance and diet digestibility of beef cattle. J. Anim. Sci. 78:1-6.

- Renewable Fuels Association. 2007. Renewable fuels outlook 2007, Renewable Fuels Association, Washington DC. [www.ethanolrfa.org](http://www.ethanolrfa.org)
- Rooney, L. W., y R. L. Pflugfelder. 1986. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. J. Anim. Sci. 63:1607.
- Rosentrater, K.A. 2006. Some Physical Properties of Distillers Dried Grain with Solubles (DDGS). Applied Engineering in Agriculture. Vol. 22 (4):589-595.
- Sexten, J. 2006. Feeding Distiller's Grains to Beef Cattle. University of Illinois Extension. Disponible en: <http://ilift.trail.uiuc.edu/distillers/>
- Sindt, J. J., J. S. Drouillard, E. C. Titgemeyer, S. P. Montgomery, E. R. Loe, B. E. Deppenbusch, and P. H. Walz. 2006. Influence of steam-flaked corn moisture level and density on the site and extent of digestibility and feeding value for finishing cattle. J. Anim. Sci. 84: 424- 432.
- Shurson, G. C. 2006. Overview of Distillers Dried Grains with Solubles. University of Minnesota. Disponible en: <http://www.ddgs.umn.edu/overview.htm>.
- Shurson, G. C. 2007. Beneficios y limitaciones de alimentar al porcino con DDGS de maíz. SUIS No. 41 pp. 22-41. Disponible en: [www.ddgs.umn.edu/international-translations/Spanish\(Shurson%20Oct%202007\)%20suis41.pdf](http://www.ddgs.umn.edu/international-translations/Spanish(Shurson%20Oct%202007)%20suis41.pdf)
- Spiehs, M. J., M. H. Whitney, y G. C. Shurson. 2002. Nutrient database for distiller's dried grain with soluble produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. J. Anim. Sci. 80:2639-2645.
- Stock, R. A., J. M. Lewis, T. J. Klopfenstein, y C.T. Milton. 2000. Review of new information on the use of wet and dry milling feed by- products in feedlot diets. Proc. Am. Soc. Anim. Sci. Disponible en: <http://www.asas.org/jas/symposia/proceedings/0924.pdf>.
- Tjardes, K. y C. Wright. 2002. Feeding Corn Distiller's Co-products to Beef Cattle. South Dakota State University. ExEx 2036.
- U. S. Grains Council. 2007. DDGS user handbook. Nutrient composition of DDGS. <http://www.grains.org/ddgs-user-handbook>
- Vander Pol, K. J., G. E. Erickson, M. A. Greenquist, T. J. Klopfenstein, y T Robb. 2006a. Effect of corn processing in finishing diets containing wet distiller's grains on feedlot performance and carcass characteristics of

finishing steers. Nebraska Beef Report. University of Nebraska-Lincoln Extension. MP88-A:48-50.

Vander Pol, K. J., G. E. Erickson, M. A. Greenquist, T. J. Klopfenstein, y T Robb. 2006b. Effect of dietary inclusion of wet distiler's on feedlot performance of finishing cattle and energy value relative to corn. Nebraska Beef Report. University of Nebraska-Lincoln Extension. MP88-A:51-53.

Weigel, J. C., D. Loy, y L. Kilmer. 1997. Feed Co-Products of the Dry Corn Milling Process. Iowa State University, Iowa Corn Promotion Board, Iowa Department of Agriculture, Renewable Fuels Association, National Corn Growers Association. Disponible en <http://www.iowacorn.org/forms/drymillbook.pdf>.

Weiss, B., M. Eastridge, D. Shoemaker, y N. St-Pierre. 2007. Distillers Grains. Ohio State University Extension. Disponible en: <http://ohioline.osu.edu>.

Wester, T. J., S. M. Gramlich, R. A. Britton, y R. A. Stock. 1992. Effect of grain sorghum hybrid on in vitro rate of starch disappearance and finishing performance of ruminants. J. Anim. Sci. 70:2866.

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

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

Zinn, R. A. 1990. Influence of flake density on the comparative feeding value of steam-flaked corn for feedlot cattle. J. Anim. Sci. 68:767-775.

Zinn, R. A. 1991. Comparative feeding value of steam-flaked corn and sorghum in finishing diets supplemented with or without sodium bicarbonate. J. Anim. Sci. 69:905.

Zinn, R. A. 1993a. Influence of processing on the feeding value of barley for feedlot cattle. J. Anim. Sci. 71:3.

Zinn, R. A. 1993b. Influence of processing on the feeding value of oats for feedlot cattle. J. Anim. Sci. 71:2303.

Zinn, R. A., C. F. Adam, and M. S. Tamayo. 1995. Interaction of feed intake level on comparative ruminal and total tract digestion of dry-rolled and steam-flaked corn. J. Anim. Sci. 73: 1239-1245.

Zinn, R. A., E. G. Álvarez, M. F. Montaña, A. Plascencia, y J. E. Ramírez. 1998. Influence of tempering on the feeding value of rolled corn in finishing diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 76:2239-2246.