

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN PRODUCTIVA Y NUTRICIONAL DE GRANOS DE
DESTILERÍA SECOS DE SORGO COMO INGREDIENTE DE
RACIONES PARA TERNEROS ALIMENTADOS EN
CONFINAMIENTO**

por

Stefanía PANCINI FONTES

TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Magister en Ciencias Agrarias
Opción Ciencias Animales

**MONTEVIDEO
URUGUAY
noviembre 2018**

Tesis aprobada por el tribunal integrado por Ing. Agr., MSc., Dra. Ana Inés Trujillo (presidenta), Ing. Agr., MSc., PhD. Alejandro La Manna (vocal) e Ing. Agr., MSc, Dra. Laura Astigarraga (Vocal), el 26 de noviembre de 2018. Autora: Ing. Agr. Stefanía Pancini. Director Ing. Agr., MSc., PhD. Álvaro Simeone, Co-directora Ing. Agr., MSc., Dra. Virginia Beretta.

Dedico este trabajo a mi familia

AGRADECIMIENTOS

A mis tutores, Álvaro Simeone y Virginia Beretta, gracias por confiar en mí y darme la seguridad y las herramientas necesarias para realizar y culminar este trabajo, pero por sobre todo por conducirme en un camino de aprendizaje y crecimiento profesional y personal.

A Guille, mi marido, gracias por la ayuda constante y por darme el impulso, la confianza, y el apoyo necesario para que este proyecto se pueda hacer realidad.

A mi familia, en especial a Papá, Mamá y Bruno, mi hermano, gracias por su apoyo incondicional, por acompañarme durante todo este proceso, y por darme fuerzas para continuar creciendo en mi carrera.

A Diego Mosqueira, por su ayuda incondicional de todos los días, sin él no habría podido llevar el trabajo adelante.

Al Ing. Agr. (MSc) Oscar Bentancur por el asesoramiento estadístico.

A la Ing. Agr. (MSc, Dra.) Laura Astigarraga, el Ing. Agr. (MSc, PhD.) Alejandro La Manna, la Ing. Agr. (MSc, Dra.) Ana Inés Trujillo y el Ing. Agr. (MSc.) Diego Mattiauda por sus aportes para la mejora de este trabajo.

A la Comisión académica de posgrado por las becas otorgadas para la realización y la finalización de mis estudios de posgrado.

A ALUR por la donación de los granos de destilería de sorgo utilizados en el ensayo.

A ANII por el financiamiento del proyecto, en el cual se enmarca mi trabajo de tesis.

TABLA DE CONTENIDO

| | página |
|--|-------------|
| PÁGINA DE APROBACIÓN..... | II |
| AGRADECIMIENTOS..... | IV |
| RESUMEN..... | VIII |
| SUMMARY..... | IX |
| | |
| 1. <u>INTRODUCCIÓN</u>..... | 1 |
| 1.1. PRODUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL DE LOS GRANOS DE DESTILERÍA..... | 2 |
| 1.2. EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE GRANOS DE DESTILERÍA EN DIETAS CONCENTRADAS SOBRE LA PERFORMANCE ANIMAL..... | 8 |
| 1.3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS..... | 11 |
| | |
| 2. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>..... | 12 |
| 2.1. LOCALIZACIÓN E INFRAESTRUCTURA..... | 12 |
| 2.2. EXPERIMENTO 1: DESEMPEÑO DE TERNEROS ALIMENTADOS A CORRAL CON NIVELES CRECIENTES DE DDGS DE SORGO EN LA DIETA..... | 13 |
| 2.2.1. <u>Período experimental</u>..... | 13 |
| 2.2.2. <u>Tratamientos, animales y procedimiento experimental</u>..... | 13 |
| 2.2.3. <u>Registros, mediciones y variables calculadas</u>..... | 14 |
| 2.2.4. <u>Análisis químicos</u>..... | 15 |
| 2.2.5. <u>Análisis estadístico</u>..... | 16 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3. EXPERIMENTO 2: EFECTO DE NIVELES CRECIENTES DE DDGS DE SORGO SOBRE LA FERMENTACIÓN RUMINAL Y LA DIGESTIÓN DE LOS NUTRIENTES..... | 17 |
| 2.3.1. <u>Período experimental, dietas, animales y procedimiento experimental</u>..... | 17 |
| 2.3.2. <u>Mediciones, muestreos y variables calculadas</u>..... | 18 |
| 2.3.3. <u>Análisis químicos</u>..... | 20 |
| 2.3.4. <u>Análisis estadístico</u>..... | 21 |
| 3. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>..... | 23 |
| 3.1. EXPERIMENTO 1: DESEMPEÑO DE TERNEROS ALIMENTADOS A CORRAL CON NIVELES CRECIENTES DE DDGS DE SORGO EN LA DIETA..... | 23 |
| 3.1.1. <u>Caracterización y valor energético de las dietas</u>..... | 23 |
| 3.1.2. <u>Performance y crecimiento animal</u>..... | 27 |
| 3.2. EXPERIMENTO 2: EFECTO DE NIVELES CRECIENTES DE DDGS DE SORGO SOBRE LA FERMENTACIÓN RUMINAL Y LA DIGESTIÓN DE LOS NUTRIENTES..... | 31 |
| 3.2.1 <u>Caracterización de la dieta, comportamiento y digestibilidad</u>..... | 31 |
| 3.2.2 <u>Degradabilidad y productos de la fermentación ruminal</u>..... | 37 |
| 3.3 DISCUSIÓN GENERAL..... | 43 |
| 4. <u>CONCLUSIONES</u>..... | 47 |
| 5. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>..... | 48 |

| | |
|---|-----------|
| 6. <u>ANEXOS</u>..... | 57 |
| 6.1 DEGRADABILIDAD RUMINAL DEL DDGS DE SORGO | 57 |
| 6.2 INCREASING LEVELS OF SORGHUM DRIED DISTILLERS' GRAINS PLUS SOLUBLES IN GROWING FEEDLOT DIET: EFFECT ON CALVES' GROWTH, NUTRIENTS DIGESTION AND RUMINAL FERMENTATION..... | 58 |

RESUMEN

Los granos de destilería (GD) son de gran interés para la alimentación del ganado de carne, debido a su elevado contenido energético y proteico. El uso de GD de maíz en dietas de terminación, ha sido muy bien caracterizado, con un óptimo de inclusión entre 20% y 30%. Sin embargo, la caracterización nutricional y productiva de los GD de sorgo es escasa e inconclusa. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del nivel de inclusión de granos de destilería secos de sorgo más solubles (SDDGS) en dietas de terneros en crecimiento, sobre la performance animal, parámetros de fermentación ruminal y digestión de los nutrientes. Se realizaron dos experimentos evaluando 4 raciones totalmente mezcladas (RTM) isonitrogenadas, ofrecidas *ad libitum*, con niveles crecientes de inclusión de SDDGS, 0%, 15%, 30% y 45%, en sustitución de grano de sorgo y harina de soja. En el experimento 1, 32 terneros castrados ($198,8 \pm 14,6$ kg), en un diseño completamente al azar, fueron asignados a una de las 4 RTM y alimentados en corrales individuales. La ganancia media diaria, peso vivo final y el área ojo de bife registraron su máximo valor para un rango de inclusión entre 18% y 20,5%, sin diferencias en consumo de MS y espesor de grasa dorsal subcutánea ($P \geq 0,373$), y con un incremento lineal en el valor de eficiencia de conversión ($P = 0,0096$). En el experimento 2, se utilizaron 4 novillos (450 ± 63 kg) provistos de fistula ruminal en un diseño de cuadrado latino 4×4 . Niveles crecientes de SDDGS incrementaron linealmente el consumo de FDN y EE ($P < 0,001$). La digestibilidad total aparente (DIG) de la FDN incrementó linealmente ($P = 0,038$), con una reducción cuadrática de la DIG del EE ($P = 0,017$). No fueron afectados el consumo ni la DIG de la MS ni de la PC ($P \geq 0,385$), pero disminuyeron linealmente sus degradabilidades a nivel ruminal ($P \leq 0,01$). La concentración de amonio se redujo linealmente ($P < 0,0001$), sin cambios en el pH ruminal ni en la concentración de acetato, propionato y butirato ($P \geq 0,22$). La inclusión de SDDGS en la dieta, hasta 45% MS, afecta negativamente el desarrollo y crecimiento de los terneros y la eficiencia de conversión del alimento. La ausencia de cambios en la DIG y una reducción en la degradabilidad ruminal, sugiere un cambio en el sitio de digestión.

Palabras clave: granos de destilería secos de sorgo con solubles, ganado de carne, crecimiento, digestión, fermentación ruminal.

NUTRITIONAL AND PRODUCTIVE EVALUATION OF SORGHUM DRIED DISTILLERS GRAINS INCLUDED IN CALVES' FEEDLOT DIET

SUMMARY

Distillers grains (DG) are commonly used as a protein and energy source in beef cattle rations, due to their high nutritional value. The use of corn DG in finishing diets has been very well characterized, with an optimal inclusion level of 20% to 30%. However nutritional and productive characterization of sorghum DG is scarce and inconclusive. The objective of this study was to determine the effect of increasing levels of sorghum dried distillers' grains plus solubles (SDDGS) in growing calves' diets, on performance, ruminal fermentation and nutrients digestion. Two experiments were conducted evaluating 4 isonitrogenous total mixed rations (TMR), offered *ad-libitum*, with increasing levels of SDDGS 0%, 15%, 30% y 45 %, replacing a combination of sorghum grain and soybean meal. In experiment 1, 32 castrated male calves (198.8 ± 14.6 kg), in a completely randomized design, were assigned to the one of 4 RTM, and fed in individual pens. Average daily gain, final body weight and ribeye area showed a quadratic increase ($P < 0.05$), without differences in DM intake and back fat thickness ($P \geq 0.373$), and a linear increase in feed conversion ratio ($P = 0.0096$). In experiment 2, 4 ruminally cannulated steers (450 ± 63 kg) were assigned to the same dietary treatments as in experiment 1, in a 4×4 Latin square design. Greater levels of SDDGS increased linearly NDF and EE intake ($P < 0.001$). Total tract apparent digestibility (DIG) of NDF increased linearly ($P = 0.038$) with a quadratic decrease of EE DIG ($P = 0.017$). DM and CP intake and DIG were not affected ($P \geq 0.385$), but ruminal degradability decreased linearly ($P \leq 0.01$). Ammonia concentration decreased linearly ($P < 0.0001$), without changes in ruminal pH, acetate, propionate and butyrate concentrations ($P \geq 0.22$). Increasing SDDGS level, up to 45% DM of the diet, affects calves' growth and development, and feed conversion ratio. A decrease in DM and CP ruminal degradability without affecting DEG suggests a shift of the site of digestion.

Keywords: sorghum dried distillers' grains plus solubles, beef cattle, growth, digestion, ruminal fermentation.

1. INTRODUCCIÓN

En el marco de un crecimiento internacional de la producción de biocombustibles, con incrementos del 600% en los últimos 20 años (Abad, 2013), en el año 2007, Uruguay crea una ley de agrocombustibles, N°18.195, (Uruguay, Poder legislativo, 2007) con el objetivo de reducir la emisión de gases con efecto invernadero. Debido a esta ley se incrementó de 1 a 11% la energía producida a partir de biomasa, entre los años 2006-2014. Desde el año 2010, este incremento es atribuible a la contribución del biodiesel y bioetanol a la matriz energética del país (MIEM, 2014).

El bioetanol, producto de la fermentación de los azúcares presentes en el almidón de los cereales (Abad, 2013), genera como subproducto granos de destilería (GD). Los GD son de gran interés para la alimentación animal, debido a su valor nutritivo, ya que, son ricos en proteína (Wang et al., 2008) y energía, esta última derivada del alto contenido de lípidos (Benchaar et al., 2013, Legizamón et al., 2009) y de la fibra, que se caracteriza por ser altamente digestible (Jaworski et al., 2015, Elizalde y Riffel, 2012), y por su competitividad económica, en comparación con alimentos tradicionales (Xu et al. 2013, Berger y Singh, 2010, DiLorenzo y Galyean, 2010, May et al. 2010, Klopfenstein et al., 2008). Es por esto que los GD son comúnmente utilizados como fuente de proteína y energía en las raciones de bovinos de leche y carne (Liu et al., 2011).

En Uruguay este subproducto toma gran relevancia a partir del año 2014 con la construcción de una planta de bioetanol (ALUR, Paysandú), con una capacidad de producción de 70 millones de litros de bioetanol por año, generando 70 mil toneladas de granos de destilería con solubles, secos (DDGS) o húmedos (WDGS), con la particularidad de que se generan a partir de grano de sorgo BT (bajo en taninos), a diferencia de otras regiones del mundo que presentan al maíz como principal insumo.

El uso de concentrados en la alimentación animal ha tomado gran importancia en los últimos años, debido a una mayor disponibilidad de granos y una reducción en las áreas de pasturas sembradas. Por lo cual, los alimentos concentrados pasan a ser utilizados como suplemento sobre una base forrajera, o como base de la alimentación

a corral, demostrando un mayor beneficio económico en los sistemas ganaderos (Simeone y Beretta, 2013). Particularmente, los sistemas de encierre invernal de terneros (ADT; Simeone et al., 2008) han demostrado ser una alternativa de producción eficiente, con valores de eficiencia de conversión del alimento excelentes (5:1-6:1), y eficaz, ya que permite expresar el potencial de crecimiento animal, logrando una mejor performance final.

El sorgo es el principal componente de las dietas de corral, y significa el costo principal de estos sistemas de producción, por lo cual sería una excelente alternativa la incorporación de granos de destilería, como fuente de energía y proteína, con un excelente valor nutritivo y un menor costo potencial. El mayor valor nutritivo, así como el límite de inclusión, no están caracterizados para terneros, en su etapa de recría, ni para la inclusión de DDGS proveniente de sorgo (SDDGS), en sustitución del grano de sorgo y harina de soja en la dieta.

1.1. PRODUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL DE LOS GRANOS DE DESTILERÍA

Los granos de destilería son los residuos sólidos del proceso de producción de bioetanol, a partir de maíz, sorgo u otros cereales como trigo y cebada, y pueden comercializarse tanto húmedos (WDG) como secos (DDG). Otro subproducto de este proceso son los solubles de destilería condensados (CDS), partículas más finas y levaduras, ricos en proteína, grasa, fósforo y azufre, y bajos en fibra, que pueden utilizarse como suplemento líquido en la alimentación animal (Erickson et al., 2007), o mezclarse con los residuos sólidos, generando como producto granos de destilería más solubles, que son comercializados húmedos (WDGS) o secos (DDGS). El WDGS de maíz presenta un 10% más de valor energético cuando se lo compara con el DDGS de maíz. Esta diferencia puede explicarse porque el WDGS presenta compuestos volátiles, como etanol y ácidos orgánicos, que se pierden durante el secado (DiLorenzo y Galyean, 2010).

El proceso completo por el cual se obtiene el SDDGS, comienza con la molienda del grano de sorgo, de forma de exponer al almidón y favorecer su

hidrólisis, y se obtiene una harina la cual es mezclada con las vinazas claras recirculadas y enzimas α -amilasa, formando una pasta que es sometida a cocción donde los gránulos de almidón son hidrolizados por la acción conjunta de vapor y presión. Luego de hidrolizado el almidón, se enfría y se envía a los fermentadores donde se incorporan enzimas glucoamilasa y levaduras para generar los procesos de sacarificación y fermentación, convirtiendo la glucosa en etanol a través de fermentación alcohólica. Como resultado de este proceso se genera un mosto fermentado que es enviado a destilación, donde se separa la fracción líquida de la sólida, llamada vinaza. La fracción líquida se deshidrata, de forma de eliminar el agua por encima del punto azeotrópico y se obtiene el etanol al 99,8% (Bruni et al. 2014, Berger y Singh 2010, Erickson et al. 2007).

Las vinazas son centrifugadas, separando una fase líquida denominada vinazas claras, y una fase sólida que es la torta húmeda, la cual contiene fracciones no fermentables, germen, fibra y proteína. Las vinazas claras se envían a los evaporadores, concentrando las partículas más finas y levaduras, que forman un jarabe denominado condensado soluble de destilería (CDS), que será mezclado con la torta húmeda (WDG), formando el WDGS, granos de destilería húmedos con solubles. Por último, se seca en un sistema múltiple de secaderos de vapor rotativos, se enfría y se peletiza en pequeños gránulos cilíndricos de 8mm aproximadamente, convirtiendo el WDGS en DDGS (Bruni et al. 2014, Berger y Singh 2010, Erickson et al. 2007).

Los valores reportados de incorporación de CDS varían desde 0 a 22%, según la planta de fabricación. Los CDS son ricos en contenido de grasas y azufre, que proviene del uso de ácido sulfúrico para estabilizar el pH durante la fermentación, o como agente de limpieza en las columnas de destilación y fermentadores. Excesos de azufre en la dieta pueden causar toxicidad y un trastorno del sistema nervioso central por falta de tiamina, denominado polioencefalomalacia (Erickson et al., 2007). La planta de ALUR incorpora un 40% de CDS, pudiendo provocar un exceso de grasas, pero no un exceso de azufre ya que no se utiliza como agente de limpieza en el proceso de producción.

El elevado valor nutritivo reportado para el DDGS se debe a la concentración de los nutrientes, por tres veces, respecto al grano que le dio origen, con elevado contenido de fibra, proteína, grasa y fósforo (Bruni et al. 2014, Berger y Singh 2010, DiLorenzo y Galyean 2010, Klopfenstein et al. 2008, Erickson et al. 2007), debido a que en el proceso de producción de etanol se hidroliza todo el almidón, que es aproximadamente 2/3 del total del grano, más el aporte de los CDS. Sin embargo, estas características de interés son las mismas que limitan los niveles de inclusión, porque pueden causar excesos de lípidos y fósforo en la dieta (Klopfenstein et al., 2008).

El nivel máximo de inclusión recomendado para granos de destilería es de 40 a 50% (Klopfenstein et al. 2008, Klopfenstein y Grant 2001), de forma de no exceder el contenido de lípidos recomendado para dietas de bovinos (6-8%), lo cual puede condicionar la digestión de otras fracciones, como la fibra (Krehbiel et al. 1995, Zinn 1994, Zinn 1989).

Niveles crecientes de inclusión de lípidos, mayores al 4% del total de la dieta, provocan una reducción de la degradabilidad ruminal, como producto de una menor tasa de degradabilidad y un aumento en la tasa de pasaje. Esta respuesta se agrava con niveles superiores al 8% de inclusión (Kreihebel et al., 1995). Lo mismo fue reportado por Zinn (1994) cuando el consumo de lípidos superó la relación de 1,6 kg/kg peso vivo, recomendando para dietas en terminación un máximo de 8% de extracto etéreo en la dieta. Un exceso de grasa en la dieta afecta la degradabilidad ruminal de la fibra de dos maneras, reduciendo la población microbiana, causado por un efecto tóxico que inhibe el crecimiento, principalmente de bacterias celulolíticas, y disminuyendo la superficie expuesta a la acción de la población microbiana, ya que queda recubierta por aceite (Plascencia et al., 2003).

Datos nacionales de WDG de sorgo demuestran que la fracción fibra detergente neutro presenta una mayor tasa de degradabilidad respecto al sorgo grano con una degradabilidad potencial similar. Una elevada utilización de la fibra a nivel ruminal se traduce en un mayor aporte energético. La elevada degradabilidad de esta fracción podría estar explicada por la acción de los ácidos y enzimas utilizados

durante el proceso de producción de etanol en la pared celular, dejando esta fracción más disponible para el ataque microbiano (Bruni et al., 2014).

La proteína de los granos de destilería es caracterizada por un elevado contenido de proteína no degradable a nivel ruminal (Luebbe et al., 2012, Kleinschmit et al., 2007, Ham et al., 1994, Waller et al., 1980) cuando se compara con otras fuentes proteicas (Klopfenstein y Grant, 2001), lo cual es una ventaja a nivel nutricional, si no se ve afectada la digestibilidad total de la misma.

Procesos de sobre calentamiento durante el secado, pueden reducir la disponibilidad de la proteína y la performance animal (Owens, 2008). Klopfenstein et al. (2008) reportan valores de proteína pasante de 2,6 veces más que la harina de soja para el DDGS de maíz, y de 2,3 para DDG. Altos niveles de inclusión de DDGS en categorías animales en terminación, pueden generar excesos de nitrógeno (N), que se perderán en la orina y heces, causando un gasto energético extra.

Bruni et al. (2014) reportan, para WDG de sorgo, valores de 74,5% de proteína no degradada en el rumen, a pesar de que la fracción potencialmente degradable es igual a la del grano de sorgo, pero con menor tasa de degradación. Solo el 51,5% de la proteína pasante, es digestible en el intestino, dando un valor final de 63,6% de digestibilidad en la totalidad del tracto gastrointestinal. Esto se podría explicar por un cambio en la estructura de la proteína, afectando su digestibilidad.

Por otro lado, Kleinschmit, et al. (2007) estimaron la digestibilidad intestinal de la proteína no degradable en rumen, obteniendo valores de 59% a 77% de digestibilidad para cinco fuentes de DDGS, y 87% de digestibilidad para harina de soja. Los mismos autores midieron la proporción de proteína absorbible en el intestino, con valores de 41% a 59% de absorción intestinal para DDGS y 40% para harina de soja. Estos resultados sugieren que el reemplazo de harina de soja con DDGS disminuirá la digestibilidad intestinal de la proteína pasante, pero con una mayor proporción de proteína absorbible a nivel intestinal.

La relación entre N y materia orgánica (MO) disponible a nivel ruminal, se incrementó de 8,4 a 29,4 g N efectivamente degradado/kg MO efectivamente degradada, en el sorgo versus el WDG, lo cual demuestra una mejora en la eficiencia

de síntesis de proteína microbiana (Bruni et al., 2014). Benchaar et al. (2013) reportan una reducción en la concentración de amonio (NH_3), que puede corresponderse con una reducción de los protozoarios en el rumen, por excesos de lípidos consumidos. Una reducción de la población de protozoarios en el rumen mejora la eficiencia del N, incrementando la síntesis de proteína microbiana (Benchaar et al., 2013) (Cuadro 1).

Remplazar el contenido de almidón de la dieta por fibra altamente digestible, presente en los granos de destilería, podría ser una alternativa para evitar una caída en el pH y la presencia de acidosis ruminal (Nocek, 1997). Sin embargo, Benchaar et al. (2013), Luebke et al. (2012), Vander Pol. (2009), Ham et al. (1994), no reportaron variaciones en el pH ruminal debido a la incorporación de granos de destilería en la dieta, a pesar de que la inclusión de granos de destilería incrementó los niveles de FDN en la dieta.

Según Benchaar et al. (2013) el agregado de granos de destilería en la dieta afecta negativamente la degradabilidad ruminal de la materia seca (MS) y MO, disminuyendo a la producción total de AGV. La relación acetato: propionato se comporta de manera diferente con la incorporación de granos de destilería en la dieta. La misma se puede ver reducida de forma lineal, lo cual puede deberse a un incremento en el consumo de lípidos, que afecta la digestibilidad de la fibra, o incrementarse, comportándose como un suplemento fibroso (Cuadro 1). Estos resultados demuestran que la caracterización del patrón de fermentación, con niveles crecientes de inclusión de granos de destilería en la dieta es inconclusa.

Cuadro 1. Digestibilidad, pH, y productos de la fermentación ruminal según nivel de inclusión de granos de destilería en la dieta de vacunos.

| Nivel de inclusión de granos de destilería | Digestibilidad materia seca y materia orgánica | Valores de pH | Concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) | Concentración de amonio (NH ₃) |
|---|--|---------------------------|--|--|
| Benchaar et al. (2013) Vacas Holstein 0 a 30% de DDGS ¹ de maíz | Reducción lineal. >digestibilidad de la proteína y grasas. | No presenta cambios (6,2) | Reducción lineal AGV totales <acetato >propionato y butirato <relación A: P ² | Se reduce linealmente la concentración de amonio |
| Ham et al. (1994) 0 vs 40% de DDGS ¹ de maíz | - | Sin diferencias (5,75) | = concentración de AGV totales = acetato <propionato >relación A: P ² | - |
| Luebbe et al. (2012), 6 novillos cruza, fistulados. 0 a 60% de WDG ¹ de maíz | Reducción lineal para MO. >digestibilidad de la fibra | Sin diferencias (5,6) | Reducción lineal AGV totales >acetato <propionato y butirato >relación A: P ² | Interacción tratamiento Por día |
| Simeone et al. (2016) Novillos Hereford, 0 a 30% de DDGS ¹ de sorgo | Respuesta cuadrática, máximo con 14% de inclusión, 76% materia seca y 82,7% materia orgánica | - | - | - |
| Simeone et al. (2016) Terneros destete precoz Hereford, 0 a 40% de DDGS ¹ de sorgo | Sin diferencia. Valor promedio 85,3±5.13% materia seca | - | - | - |
| Vander Pol et al. (2009) Novillos Holstein, 0 vs 40% de WDG ¹ de maíz | Sin cambios en la digestibilidad ruminal | Se mantiene igual (5,24) | <acetato >propionato = butirato <relación A: P ² | - |

¹DDGS: granos de destilería secos con solubles, WDGs granos de destilería húmedos con solubles, WDG granos de destilería húmedos. ²Relación acetato: propionato

1.2. EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE GRANOS DE DESTILERÍA EN DIETAS CONCENTRADAS SOBRE LA PERFORMANCE ANIMAL

Los antecedentes para el uso de granos de destilería provenientes de maíz muestran que el agregado de DDGS de maíz en la dieta de novillos, mejora la ganancia media diaria (GMD) en forma cuadrática, en comparación con el testigo, ya sea grano de maíz o maíz rollado seco, obteniéndose pesos finales más elevados. Lo mismo sucede con la eficiencia de conversión (EC) definida como consumo MS/GMD (Ham et al., 1994). Si se compara con el WDGS de maíz, las GMD son similares, pero el consumo de materia seca (CMS) es menor, logrando una mejor eficiencia de conversión del alimento (Ham et al., 1994).

Valores máximos de GMD se obtienen con niveles de inclusión de entre 20% y 30% de DDGS de maíz (Buckner et al. 2008, Klopfenstein et al. 2008). Lo mismo sucede para la inclusión de WDGS de maíz con valores óptimos de inclusión de 30% (Klopfenstein et al., 2008)

Sin embargo, Depenbusch et al. (2008) demuestran que cuanto mejor sea, en valor nutritivo, el alimento a sustituir (ej. *steam flake* de maíz), menor es el efecto de mejora en GMD y eficiencia de conversión, atribuible a la incorporación de DDGS de maíz en la dieta. Berger y Singh (2010) observaron que animales consumiendo DDGS de maíz en niveles crecientes de inclusión, 0%, 25% y 45%, en sustitución de maíz seco rolado, presentaban un mayor CMS y una ganancia de peso más rápida en el tiempo.

En el caso de terneros, Larson, citado por Klopfenstein et al. (2008), obtuvo un incremento lineal en las GMD, y una reducción del CMS, con niveles de inclusión de hasta 40% de WDGS de maíz. Logrando una mejora de 14% en la EC, y un incremento de 35% en el valor nutritivo del WDGS de con respecto el grano de maíz. Sin embargo, Ham et al. (1994), también en terneros en crecimiento, no reportan diferencias en GMD ni en la eficiencia del uso de la proteína, con un nivel de inclusión de 15% DDGS de maíz en la dieta.

Estos antecedentes demuestran que tanto el DDGS de maíz, como el WDGS de maíz, son utilizados de manera eficiente por el animal, pudiendo sustituir sin problemas las fuentes tradicionales de energía y proteína.

Son escasos los resultados para el uso de SDDGS en sustitución de sorgo grano como componente energético de la dieta y en categorías en crecimiento, ya que mayormente es utilizado en dietas de engorde. En el cuadro 2 se presentan antecedentes reportados para el uso de granos de destilería de sorgo y su efecto sobre características productivas.

Lodge et al. (1997), utilizaron granos de destilería, constituidos por una mezcla de 80% sorgo y 20% maíz. El SDDGS en relación al mismo producto, pero en fresco, presentó menor energía neta de ganancia (ENg), lo cual se puede deber a un menor contenido de almidón. Sin embargo, si el SDDGS presentara menor contenido de almidón, se esperaría una respuesta positiva en el consumo, por un menor riesgo de acidosis, lo cual no se demostró en este caso.

Al-Suwaiegh et al. (2002) reportaron una mayor GMD y EC al comparar los resultados obtenidos entre el testigo y la inclusión de WDG ($P < 0,01$), sin diferencias entre el WDG proveniente de maíz o de sorgo. Esta respuesta coincide con lo reportado por Vasconcelos et al. (2007). Sin embargo, este último, encontró una tendencia lineal negativa en la GMD ($P < 0,01$), a medida que se incrementó el porcentaje de inclusión de WDGS de sorgo en la dieta.

Leibovich et al. (2009) obtuvieron una peor performance con la inclusión de WDGS de sorgo en la dieta, tanto en GMD ($P \leq 0,02$) como en EC ($P < 0,05$), respecto al tratamiento control, lo cual sería atribuible a la excelente calidad nutricional del alimento testigo, tal como lo demostraban Depenbusch et al. (2008) para DDGS de maíz.

Para el caso de Simeone et al. (2014) evaluando WDG de sorgo en terneras de destete precoz, en sustitución de grano de maíz, no se reportaron diferencias entre el control y las dietas con la inclusión de WDG; obteniendo muy buenas ganancias y eficiencias de conversión, viabilizando el uso de este producto en esta categoría. Sin embargo, cuando se compara la inclusión de SDDGS en sustitución de sorgo grano en la dieta (Simeone et al., 2016) se observa un incremento lineal ($P < 0,01$) en el

CMS en ambas categorías, sin diferencia en la GMD obtenida, pero con una peor EC (lineal, $P < 0,01$) en el caso de los terneros de destete precoz.

Cuadro 2. Evaluación del uso de granos de destilería de sorgo húmedos con (WDGS) y sin solubles (WDG), y secos con solubles (DDGS) como ingredientes de raciones para crecimiento o engorde de vacunos: resultados productivos.

| Autor | Animales | Nivel de inclusión | CMS | GMD | EC | ENg |
|--------------------------|--|------------------------|-------|------|------------------|-------------------|
| Lodge et al., 1997 | 160 Novillos de año 352±27 kg | Testigo ¹ | 12,11 | 1,86 | 6,5 ^b | 1,29 ^b |
| | | 40% WDG sorgo | 11,97 | 1,83 | 6,5 ^b | 1,29 ^b |
| | | 40% WDGS sorgo | 12,23 | 1,91 | 6,4 ^b | 1,32 ^b |
| | | 40% DDGS sorgo | 12,49 | 1,78 | 7,0 ^c | 1,20 ^c |
| Al-Suwaiegh et al., 2002 | 60 Novillos Red Angus 360±5 kg | Testigo ¹ | 10,7 | 1,65 | 6,5 | - |
| | | 30% WDG maíz | 10,4 | 1,8 | 5,8 | 2,00 |
| | | 30% WDG sorgo | 11,1 | 1,87 | 5,9 | 1,87 |
| Vasconcelos et al., 2007 | 200 Novillos 404±7,34 kg | Testigo ² | 8,48 | 1,5 | 5,6 | - |
| | | WDGS sorgo 5% | 8,78 | 1,54 | 5,7 | - |
| | | WDGS sorgo 10% | 8,41 | 1,43 | 5,9 | - |
| | | WDGS sorgo 15% | 8,2 | 1,32 | 6,2 | - |
| | | WDGS maíz 10% | 7,98 | 1,4 | 5,7 | - |
| Leibovich et al., 2009 | 160 Novillos ⁵ 397,6±29,4 kg | Testigo ^{1/2} | 9,7 | 1,63 | 5,9 | 1,39 |
| | | WDGS Sorgo 15% | 9,62 | 1,51 | 6,4 | 1,33 |
| May et al., 2010 | 224 Novillos 391,1±9,51 kg | Testigo ² | 9,80 | 1,54 | 6,4 | 1,42 |
| | | WDGS Sorgo 15% | 9,71 | 1,46 | 6,6 | 1,40 |
| | | WDGS Sorgo 30% | 9,51 | 1,40 | 6,8 | 1,38 |
| | | WDGS Maíz 15% | 9,20 | 1,47 | 6,3 | 1,48 |
| | | WDGS Maíz 30% | 9,34 | 1,45 | 6,4 | 1,42 |
| Simeone et al., 2014 | 20 Terneras Hereford de destete precoz | Testigo ³ | 4,12 | 1,21 | 3,37 | - |
| | | WDG Sorgo 12% | 4,20 | 1,19 | 3,55 | - |
| | | WDG Sorgo 24% | 4,26 | 1,14 | 3,64 | - |
| | | WDG Sorgo 36% | 4,73 | 1,25 | 3,70 | - |
| Simeone et al., 2016 | 24 Novillos Hereford 312,8±27,1 | Control ⁴ | 12,7 | 1,44 | 8,80 | - |
| | | 10% DDGS | 13,6 | 1,74 | 7,82 | - |
| | | 20% DDGS | 14,7 | 1,87 | 7,87 | - |
| | | 30% DDGS | 15,5 | 1,84 | 8,43 | - |
| Simeone et al., 2016 | 24 Terneros Hereford de destete precoz | Control ⁴ | 3,42 | 1,21 | 3,52 | - |
| | | 13% DDGS | 3,90 | 1,24 | 3,82 | - |
| | | 26% DDGS | 3,78 | 1,11 | 3,97 | - |
| | | 39% DDGS | 4,43 | 1,13 | 4,28 | - |

Testigo en base a ¹maíz seco rolado, ²steam flake de maíz, ³grano de maíz, ⁴sorgo grano molido.

⁵Novillos cruza británicas x continental

1.3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

En este trabajo se plantea como hipótesis que la inclusión de SDDGS en sustitución del grano de sorgo, cuando este es el principal componente de raciones utilizadas en el confinamiento de terneros, incrementa el valor alimenticio de las mismas, mejorando la ganancia de peso vivo y la eficiencia de conversión del alimento. De igual forma se espera que la sustitución de sorgo grano por SDDGS modifique el patrón de fermentación ruminal, promoviendo mayores valores de pH, y un mejor aprovechamiento del alimento.

El objetivo general de este trabajo fue generar información cuantitativa respecto a la utilización del SDDGS en raciones para vacunos en crecimiento alimentados a corral, considerando en un abordaje integral, su impacto en la performance animal y la eficiencia de uso de los nutrientes consumidos.

Como objetivos específicos se planteó evaluar el efecto del nivel de inclusión de SDDGS en la dieta, sobre el crecimiento y utilización del alimento en terneros de 8 a 10 meses de edad, alimentados a corral durante su primer invierno de vida; y complementariamente, a efectos de interpretar la respuesta productiva, evaluar el efecto del nivel de SDDGS en la dieta de vacunos alimentados a corral sobre la fermentación ruminal y la digestión de los nutrientes.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con los objetivos planteados se llevaron a cabo dos experimentos, el primero dirigido a evaluar los efectos de la inclusión de SDDGS en la dieta sobre la performance de terneros alimentados a corral, y el segundo, un estudio de digestión y metabolismo, que explique las respuestas en performance encontradas.

Ambos protocolos fueron avalados por la Comisión de ética en el uso de animales (CEUA) y aprobados por el Consejo de la Facultad de Agronomía (Resolución 1969 del 28/11/2016)

2.1. LOCALIZACIÓN E INFRAESTRUCTURA

Ambos ensayos se llevaron a cabo en la estación experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC), localizada en la ruta 3 km 363, Paysandú, Uruguay (32° 20'9" de Latitud Sur y 58° 2'22" de longitud Oeste a 61 metros sobre el nivel del mar). La estación experimental cuenta con instalaciones ganaderas (huevo, tubo y brete con balanza), próximas a los corrales.

El experimento 1 se desarrolló en la unidad de producción intensiva de carne (UPIC), la cual cuenta con corrales individuales con piso de tierra, semi techados, cada uno provisto de un comedero y bebedero. El experimento 2 se llevó a cabo en un galpón cerrado con piso de hormigón, el cual cuenta con ventilación lateral y cuatro corrales individuales también provistos de comedero y bebedero. La totalidad del SDDGS utilizado en ambos experimentos provino de una única partida producida en la planta de ALUR (Paysandú, 2016).

2.2. EXPERIMENTO 1: DESEMPEÑO DE TERNEROS ALIMENTADOS A CORRAL CON NIVELES CRECIENTES DE DDGS DE SORGO EN LA DIETA

2.2.1. Período experimental

El período experimental fue de 70 días (29/07-07/10/2016), contando con un período pre experimental de introducción y acostumbramiento gradual a las dietas de 14 días, en el cual se alcanzó el consumo *ad-libitum* de todos los animales.

2.2.2. Tratamientos, animales y procedimiento experimental

Fueron formuladas cuatro raciones totalmente mezcladas (RTM) difiriendo en el nivel de inclusión de SDDGS, 0%, 15%, 30% y 45% de la MS total, en sustitución de sorgo grano y harina de soja (Cuadro 3). Las RTM fueron formuladas isonitrogenadas, para contener un 18% de proteína cruda, con un nivel de concentrado de 92%, y 8% de retornable fino como fuente de fibra.

Treinta y dos terneros castrados, Hereford ($198,8 \pm 14,6$ kg; 281 ± 12 días de edad), provenientes del rodeo experimental de la EEMAC, nacidos en la primavera 2015, y destetados precozmente el 11 de enero del 2016 (60 días de edad y 80 kg, promedio), fueron asignados al azar a una de las 4 RTM ($n=8/\text{tratamiento}$), con previa estratificación por peso vivo.

Cada ternero fue asignado a un corral individual provisto de comedero y bebedero. El alimento fue ofrecido *ad-libitum* tres veces al día, a las 07:00, 12:00 y 17:00 horas, en cantidades iguales. De forma de asegurar un nivel de rechazo en torno al 10% la oferta se ajustó de manera individual a través de lectura diaria de comedero. Cada mañana, previo a la primera comida, se pesó el rechazo de alimento, incrementando un 5% MS la cantidad ofrecida si el rechazo era menor al 10% MS del total ofrecido. El agua también fue ofrecida *ad-libitum*, asegurando un consumo a voluntad de agua limpia y fresca.

Cuadro 3: Composición (base seca) de las raciones experimentales difiriendo en el nivel de inclusión de granos de destilería secos de sorgo con solubles (SDDGS).

| Ingredientes, % | Nivel de inclusión de SDDGS | | | |
|------------------------------|-----------------------------|------|------|------|
| | 0% | 15% | 30% | 45% |
| Retornable fino ¹ | 8,0 | 8,0 | 8,0 | 8,0 |
| SDDGS | 0,0 | 15,0 | 30,0 | 45,0 |
| Grano de sorgo molido | 63,2 | 56,2 | 49,5 | 43,1 |
| Harina de soja | 25,2 | 17,2 | 8,8 | 0,0 |
| Urea | 0,41 | 0,42 | 0,43 | 0,45 |
| Melaza | 1,42 | 1,44 | 1,48 | 1,55 |
| Zoodry feedlot | 0,16 | 0,17 | 0,17 | 0,18 |
| Carbonato de calcio | 1,14 | 1,16 | 1,19 | 1,25 |
| Sal común | 0,33 | 0,33 | 0,34 | 0,36 |
| Rumensin (10% monensina) | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 |
| Levaduras | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,09 |

¹Retornable fino: chips de madera subproducto de la industria de la celulosa

2.2.3. Registros, mediciones y variables calculadas

Los terneros fueron pesados a inicio y fin del período experimental, así como cada 14 días durante este período, en la mañana sin ayuno previo ni orden preestablecido. Se determinó la evolución del peso vivo (PV) y la ganancia media diaria (GMD) como la pendiente de la recta de la regresión del peso vivo en el tiempo.

La altura al anca fue medida a inicio y fin del período experimental (Alderson, 1999). El área del músculo *Longissimus dorsi* (AOB) y el espesor de grasa dorsal (EGD) fue medido, a fin de período experimental, entre la 12° y 13° costilla a través de ultrasonografía. Para la realización de la ultrasonografía se colocó el transductor en la sección transversal del músculo localizada entre la 12° y 13° costilla. Las imágenes obtenidas fueron procesadas por un software específico para la

evaluación de razas carniceras (BioSoft Tool Box II, Biotronics Inc.; Ames, IA, USA). El EGD fue medido en las $\frac{3}{4}$ partes del ancho del AOB, ya que el inicio del músculo se encuentra cercano a la columna vertebral.

El consumo de materia seca (CMS) diario, fue determinado como la diferencia entre el total de alimento ofrecido y su correspondiente rechazo y expresado como kg/d y % del PV. Los rechazos por animal fueron pesados diariamente previo a la primera comida de la mañana. Se tomaron muestras semanales de los componentes de la dieta y de los rechazos por animal para determinar contenido de MS. Las muestras fueron secadas en estufa de aire forzado, durante 48 horas a 60C°, y conservadas para posterior análisis químico.

La eficiencia de conversión fue estimada como la relación entre el CMS (kg/d) y la GMD (kg/d). El valor alimenticio de la dieta fue calculado como el cociente entre el cambio en la relación 1/EC respecto al tratamiento 0% y el nivel de inclusión de SDDGS en la dieta (Elizalde y Riffel, 2012). Este indicador estima el efecto de la inclusión de SDDGS en la dieta, en sustitución de la mezcla de sorgo grano molido y harina de soja. Se asumió un valor alimenticio igual a 100 para la dieta con 0% de inclusión de SDDGS.

Los aportes de energía neta para mantenimiento (EN_m) y energía neta para ganancia (EN_g) de la dieta fueron calculados según Zinn et al. (2002). La EN_m se estimó a través de la performance de crecimiento y CMS, y la EN_g fue estimada en función de la EN_m .

2.2.4. Análisis químicos

Las muestras secas de los ingredientes de la dieta y los rechazos fueron molidas a 2 mm en molino de martillos (Willey-Mill). Luego de molidas se realizó una muestra compuesta final por tratamiento, constituida por partes igual de todas las muestras tomadas durante el período experimental. Sobre dichas muestras se determinó el contenido de materia seca (MS; AOAC, 2012, método 934.01), cenizas (AOAC, 2012; método 942.05), proteína cruda (PC; AOAC, 2012; método 984.13), nitrógeno insoluble en detergente ácido (NIDA, %N; Van Soest, et al., 1991), fibra

detergente neutro (FDN; Van Soest, et al., 1991), fibra detergente ácido (FDA; Van Soest, et al., 1991), y extracto etéreo (EE; AOAC, 2012; método 920.39). El contenido de FDA y FDN fue determinado de forma secuencial (Ankom Fiber Analyzer 200, Ankom Technology Corp.; Fairport, NY, USA). Los análisis fueron repetidos cuando el coeficiente de variación fue mayor a 5%.

2.2.5. Análisis estadístico

Este experimento fue analizado según un diseño completamente al azar, donde cada animal fue la unidad experimental, contándose con 8 repeticiones por tratamiento.

El modelo estadístico incluyó el efecto fijo del tratamiento, y el peso vivo inicial como covariable. El modelo general fue el siguiente: $Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_1 x_1 + \epsilon_{ij}$, siendo μ la media general, T_i el efecto del i -ésimo tratamiento, $\beta_1 x_1$ el coeficiente de regresión asociado a la covariable, y ϵ_{ij} el error experimental. Para las variables con medidas repetidas en el tiempo se incorporó en el modelo el efecto del momento de muestreo, la interacción entre el momento y el tratamiento, y un error de la medida repetida en el tiempo, $Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_1 x_1 + \epsilon_i + D_j + (D \times T)_{ji} + \delta_{ij}$, donde D_j es el efecto del j -ésimo momento de muestreo (día de muestreo), $(D \times T)_{ji}$ la interacción entre tratamiento y momento de muestreo, y δ_{ij} el error de la medida repetida en el tiempo.

Se testearon los efectos lineal y cuadrático asociados al nivel de inclusión de SDDGS en la dieta sobre las variables de respuesta. Se utilizó el procedimiento Mixed (SAS University edition, SAS Inst. Inc., Cary, NC) para las variables peso vivo, GMD, CMS (kg y %PV), el procedimiento GLM (SAS University edition, SAS Inst. Inc., Cary, NC) para EC. El programa R Core Team (2017) fue utilizado para el análisis de las variables altura al anca, AOB, EGD, ENm y ENg, utilizando un análisis de varianza tipo III.

2.3 EXPERIMENTO 2: EFECTO DE NIVELES CRECIENTES DE DDGS DE SORGO SOBRE LA FERMENTACIÓN RUMINAL Y LA DIGESTIÓN DE LOS NUTRIENTES

2.3.1. Período experimental, dietas, animales y procedimiento experimental

Se utilizaron cuatro novillos Hereford (450 ± 63 kg), provenientes del rodeo de la EEMAC, nacidos en la primavera 2014. Cada uno provisto de fistula ruminal, con cánulas de silicona de 4 pulgadas (Kehl[®] Ind. Ltda.; São Carlos, SP, Brazil). Cada novillo fue estabulado en un corral individual provisto de comedero y bebedero, y asignado a cada uno de los 4 tratamientos en un diseño de cuadrado latino 4×4 . Fueron evaluadas las mismas 4 RTM que en el Experimento 1.

El período experimental abarcó un total de 76 días (9/10/2016 al 23/12/2016), conformado por cuatro períodos de 19 días cada uno, en los cuales los primeros 14 días correspondieron al período de acostumbramiento y transición entre dietas, y los últimos 5 días a la fase de mediciones y colección de muestras.

Los 4 animales recibieron de manera aleatoria las 4 dietas experimentales (Cuadro 3), en cada uno de los 4 períodos de evaluación. El orden de los tratamientos para cada animal se determinó previo al comienzo del experimento a través de una aleatorización doble de un cuadrado latino estándar (Montgomery, 2004). Se aleatorizaron primero todas las filas, y luego todas las columnas, menos la primera columna (Figura 1).

| Período | Animales | | | | Período | Animales | | | | Período | Animales | | | |
|---------|----------|----|----|----|---------|----------|----|----|----|---------|----------|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | 1 | 2 | 3 | 4 | | 1 | 3 | 4 | 2 |
| 1 | 0 | 15 | 30 | 45 | 3 | 30 | 45 | 0 | 15 | 3 | 30 | 0 | 15 | 45 |
| 2 | 15 | 30 | 45 | 0 | 4 | 45 | 0 | 15 | 30 | 4 | 45 | 15 | 30 | 0 |
| 3 | 30 | 45 | 0 | 15 | 2 | 15 | 30 | 45 | 0 | 2 | 15 | 45 | 0 | 30 |
| 4 | 45 | 0 | 15 | 30 | 1 | 0 | 15 | 30 | 45 | 1 | 0 | 30 | 45 | 15 |

Figura 1: Aleatorización del diseño de cuadrado latino.

El alimento fue ofrecido *ad-libitum*, en una sola comida diaria por la mañana (7:00 am). Previo al suministro del alimento se pesaron los rechazos por animal ajustando la oferta cuando estos eran menores a un 10% MS del total ofrecido. Muestras de los componentes de la dieta y de los rechazos por animal fueron tomados semanalmente y secados en estufa de aire forzado por 48 horas a 60°C para determinar el contenido de MS de los mismos.

El consumo de agua fue a voluntad asegurando una continua disponibilidad de agua fresca y limpia. Tanto los corrales como los bebederos se limpiaron diariamente.

2.3.2. Mediciones, muestreos y variables calculadas

A inicio de cada período se registró el peso vivo para ajustar la oferta de alimento. La fase de mediciones abarcó desde el día 15 al día 19 de cada período. El comportamiento ingestivo se evaluó en el día 15, durante las horas luz (7:00 - 19:00 horas), registrando cada 15 minutos las actividades de consumo de alimento, agua, rumia, y descanso.

La digestibilidad total aparente *in vivo* (DIG) de la MS, FDN, PC, EE, cenizas y energía bruta (EB) de la dieta se determinó como $DIG (\%) = [\text{consumo (kg MS)} - \text{heces (kg MS)}] / \text{consumo (kg MS)} \times 100$. Para lo cual se realizó una recolección total de heces durante 3 días consecutivos (días 16 al 18). Se registró el peso fresco y se congeló, a -18°C, la totalidad de las muestras hasta posterior procesamiento. Una muestra compuesta por período por animal fue secada en estufa de aire forzado por 7 días a 60°C, para la determinación del contenido de MS, y conservadas para posterior análisis. Simultáneamente se midió el consumo de MS durante los días 15, 16 y 17, como la diferencia entre el alimento ofrecido y el rechazo. Se tomaron muestras de los ingredientes de la dieta ofrecida y de los rechazos por animal para la corrección del contenido de MS. Estas muestras fueron secadas en estufa de aire forzado por 48 horas a 60°C, y conservadas para posterior análisis químico. A partir del valor estimado para la digestibilidad de la EB se determinó la energía digestible (ED), como $ED = EB \times \text{digestibilidad de la energía}$, y la energía metabolizable (EM) como

$EM = ED \times 0,81$, considerando un 19% de pérdidas de energía en orina, gas metano y calor de fermentación (Nolan y Savage, 2009).

La tasa de pasaje (kp) de la MS fue estimada según AFRC (Agricultural Food and Research Council, 1993) en función de la EM consumida (EM_i) y la EM de mantenimiento (EM_m) en cada período y para cada tratamiento. Siendo $kp = -0,024 + 0,179 \times (1 - e^{-0,278L})$, $L = EM_i / EM_m$, $EM_i = EM \times CMS$, $EM_m = (EN_{\text{metabolismo basal (mb)}} + EN_{\text{actividad básica (ab)}}) / km$, $km = 0,35 \times qm + 0,503$, $qm = EM / EB$, $EN_{mb} = 1 \times [0,53 \times (PV / 1,08) \times 0,67] / 4,184$, y $EN_{ab} = 0,0071 \times PV / 4,184$. Tiempo de retención fue determinado como la inversa a la tasa de pasaje.

Sobre las muestras de los ingredientes de la dieta ofrecida y los rechazos por animal, se determinó el factor de efectividad de la fibra (fef) en el alimento ofrecido y su correspondiente rechazo para cada período de evaluación. El fef fue determinado como la sumatoria total de partículas con un tamaño mayor a 1,18 mm (Heinrichs y Kononoff, 2002), para lo cual se utilizó el separador de partículas de tres tamices Penn State (PSPS). También se estimó la fibra físicamente efectiva (FDN_{fe}) como el producto entre el contenido de FDN y el fef, para cada RTM y su respectivo rechazo, en cada período de mediciones.

La degradabilidad ruminal aparente en función del tiempo se estimó según el modelo exponencial planteado por Ørskov y McDonald (1979), en función de la tasa de degradación ruminal (c , por unidad de tiempo), la fracción soluble y rápidamente degradable (a) y la fracción no soluble, pero potencialmente degradable a una tasa constante (b) para la MS, FDN y PC. La degradabilidad ruminal efectiva fue estimada con la ecuación: $a + [(b \times c) / (c + kp)]$ (Ørskov y McDonald, 1979), donde kp es la tasa de pasaje, que fue estimada según AFRC, descrito anteriormente.

A los efectos de estimar degradabilidad ruminal se incubaron, en el saco ventral del rumen, muestras secas ($15\text{mg}/\text{cm}^2$) de la dieta ofrecida (sin retornable fino) y SDDGS, por duplicado, en bolsitas de filtro de $9 \times 11 \text{ cm}^2$ con poros de $40 \mu\text{m}$ (tela de serigrafía de 120 hilos-poros) previamente identificadas. Las mismas fueron colocadas el día 16, previo a la alimentación y retiradas a las 2, 4, 8, 16, 24 y 48 horas post-alimentación (dos repeticiones por alimento por tiempo). Una vez retiradas fueron inmediatamente colocadas en una conservadora con hielo para

detener la fermentación y posteriormente congeladas a -18°C , para su conservación. Concluido el período de mediciones se procedió al descongelado, seguido por una secuencia de 5 lavados de 3 minutos en lavarropas, un enjuague en agua destilada por 5 minutos, escurrido y secado durante 48 h en estufa de aire forzado a 60°C . La degradabilidad en el tiempo 0 se determinó colocando 2 bolsas por muestra en agua a 39°C , simulando la temperatura ruminal, durante 15 minutos, las cuales también se escurrieron y secaron durante 48h en estufa de aire forzado a 60°C . Una vez secas, las bolsas se colocaron en un desecador para estabilizar su temperatura y evitar un incremento en el contenido de humedad. Luego se procedió con la determinación de peso seco en balanza analítica. Se guardó el residuo de cada tiempo para su posterior análisis químico.

Durante el día 17 se tomaron muestras de líquido del saco ventral del rumen a las 0, 3, 6, 9 y 24 horas post-alimentación. Las muestras de líquido ruminal fueron filtradas en tela de queso doble y se midió pH de forma inmediata, utilizando un pH-ímetro portátil (pHTestrs 20[®], Oakton[®] Instruments; Vernon Hills, IL USA). Se conservaron dos sub-muestras, una alícuota de 20ml fue mezclada con 1ml de ácido fosfórico al 1% para posterior determinación ácidos grasos volátiles (AGV), y una alícuota de 40 ml se mezcló con 2 ml de ácido sulfúrico puro para posterior determinación de amonio. Ambas muestras se conservaron congeladas a -18°C hasta su análisis.

2.3.3. Análisis químicos

Se analizó la composición química del alimento ofrecido, rechazos y heces sobre muestras compuestas por animal y por período. Cada muestra utilizada fue previamente secada y molida en molino de martillo (Willey-Mill) a 2mm.

Se determinó el contenido de MS (AOAC, 2012, método 934.01), cenizas (AOAC, 2012; método 942.05), PC (AOAC, 2012; método 984.13), NIDA (%N; Van Soest, et al., 1991), FDN (Van Soest, et al., 1991), FDA (Van Soest, et al., 1991), EE (AOAC, 2012; método 920.39) y EB (Harris, 1970) en las muestras de

alimento ofrecido y rechazos. El contenido de FDN y FDA fue determinado en forma secuencial, al igual que en el Experimento 1.

En heces fueron determinados el contenido de MS, cenizas, FDN, EE y EB. Para la degradabilidad *in sacco* de la dieta y del SDDGS se analizó el contenido de MS, PC y FDN en cada residuo de cada tiempo de muestreo, previamente molidos a 2mm en molino de martillo (Micro Willy).

Muestras de líquido ruminal fueron analizadas para concentración de amonio ($\mu\text{gN-NH}_4/\text{ml}$) (AOAC, 2015; method 984.13) y AGV (mM/l). Para el análisis de AGV las muestras fueron purificadas con ácido ortofosfórico 25% en ácido sulfúrico 0,5 M a razón de 0,5 ml cada 2 ml de muestra, y centrifugadas por 10 minutos a 5000 g (Friggens et al., 1998). Se determinó la concentración de acetato, propionato, butirato, isobutirato, valerato e isovalerato por cromatografía de gases (Konic 5000B, Konic[®] Instruments Inc.; Miami, FL, USA) usando una columna capilar (OPTIMA FFAPplus 30m and 0,32mm, Macherey-Nagel Inc.; Bethlehem, PA, USA).

2.3.4. Análisis estadístico

El experimento se analizó según un diseño de cuadrado latino, con cuatro animales y cuatro períodos de tiempo (dos restricciones a la aleatorización), sin réplica, bajo el supuesto de que es un modelo aditivo, sin interacción significativa entre período, animal y tratamiento (Montgomery, 2004).

El modelo estadístico general incluyó al tratamiento y período de tiempo como efecto fijo, y al animal como efecto aleatorio, $Y_{ijk} = \mu + P_i + A_j + T_k + \epsilon_{ijk}$, siendo μ la media general, P_i el efecto del i -ésimo período, A_j el efecto del j -ésimo animal, T_k el efecto del k -ésimo tratamiento, y ϵ_{ijk} el error experimental. Este modelo se vio modificado para analizar las variables de fermentación ruminal con medidas repetidas en el tiempo (pH, AGV y amonio), incluyendo los efectos fijos de momento de muestreo y sus interacciones, quedando el modelo utilizado de la siguiente manera, $Y_{ijkl} = \mu + P_i + A_j + T_k + \epsilon_{ijk} + H_l + (H \times T)_{kl} + \delta_{ijkl}$, donde H_l es el efecto del l -ésimo momento de muestreo (hora de muestreo), $(H \times T)_{kl}$ la interacción

entre tratamiento y momento de muestreo, y δ_{ijkl} el error de la medida repetida en el tiempo.

Las variables consumo, pH, amonio y AGV fueron analizadas utilizando el procedimiento Mixed (SAS University edition, SAS Inst. Inc., Cary, NC). Las variables de digestibilidad, tasa de pasaje, caracterización de la dieta, y comportamiento fueron analizadas utilizando un análisis de varianza tipo III (R Core Team, 2017). Las variables de degradabilidad *in sacco* fueron analizadas ajustando la ecuación de Ørskov y McDonald (1979) como una regresión no lineal (R Core Team, 2017). La comparación de las medias de tratamientos se realizó evaluando los efectos lineales y cuadráticos asociados al nivel de inclusión de SDDGS sobre las variables de respuesta.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. EXPERIMENTO 1: DESEMPEÑO DE TERNEROS ALIMENTADOS A CORRAL CON NIVELES CRECIENTES DE DDGS DE SORGO EN LA DIETA

3.1.1. Caracterización y valor energético de las dietas

Las condiciones de alimentación fueron efectivamente *ad-libitum*, en tanto el nivel de rechazo por tratamiento, fue de 10,7%, 9,6%, 10,6% y 8,4% del total ofrecido para los tratamientos con 0%, 15%, 30% y 45% de inclusión de SDDGS en la dieta, respectivamente. Por otra parte, la composición química de la dieta consumida en comparación con la dieta ofrecida en cada tratamiento no mostró diferencias (Cuadro 4), evidenciando que no hubo selección en el comedero a favor de algún nutriente o fracción. Esto se pudo ver beneficiado por la elevada concentración de la dieta (92%), pero también demuestra que no hubo un rechazo en contra del SDDGS.

La inclusión de SDDGS en sustitución de grano de sorgo molido y harina de soja en la dieta provocó un cambio en la naturaleza de la fuente de energía de la dieta, registrándose un aumento en contenido de FDN y EE, que se correlaciona directamente con las características de este subproducto (Klopfenstein et al., 2008) y una reducción en el aporte energético proveniente de carbohidratos no estructurales (Cuadro 4). El DDGS es caracterizado por su aporte energético a partir de un elevado contenido de FDN altamente digestible y EE (Xu et al. 2013, Elizalde y Riffel 2012, Ham et al. 1994).

La caracterización nutricional del SDDGS utilizado en este experimento fue de 27% PC, 2,1% NIDA (% N), 52% FDN, 21% FDA, 7% EE y 2,7% de cenizas, con un contenido de MS del 89%, y 5,0 Mcal/kg de EB. Esta caracterización coincide con los valores reportados por FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, 2017) para PC (30,2%), EE (9,4%) y contenido

de MS (90,6%), sin embargo, los valores de FDN y FDA fueron superiores a lo esperable según dicha fuente, 27% y 12%, respectivamente.

Las cuatro dietas evaluadas fueron formuladas para ser isonitrogenadas, no obstante, el contenido de PC (%) se incrementó con mayores niveles de SDDGS (Cuadro 4). La PC de los granos de destilería es caracterizada por su elevado contenido de proteína no degradable en rumen (PNDR), aún mayor que la harina de soja (Bruni et al. 2014, Luebbe et al. 2012, NRC 1996, Ham et al. 1994). Por lo tanto, no solo se incrementó el contenido de PC de la dieta, sino que también pudo verse modificado el sitio de digestión de la misma. Sin embargo, Bruni et al (2014) detectaron una baja utilización de la PNDR para granos de destilería húmedos de sorgo. En el caso de Kleinschmit, et al. (2007), estos autores determinaron una menor digestibilidad intestinal de la PNDR proveniente de DGGS en comparación con harina de soja, pero una mayor absorción intestinal de la misma.

Ham et al. (1994) reportan una correlación positiva entre el contenido de NIDA y la PNDR. El SDDGS utilizado presentó un 48% de la proteína ligada a la fibra, por lo cual se esperaría un efecto negativo sobre la utilización de la PC. Los niveles de NIDA (%N) aumentaron con el nivel de inclusión de SDDGS en la dieta, representando el 21,7%, 26,3%, 32,5% y 40% de la PC de cada una de las raciones experimentales con 0%, 15%, 30% y 45% de SDDGS respectivamente. Estos valores se encuentran por encima del valor crítico determinado por Mieres (1996), por lo cual sería esperable un efecto negativo en la digestibilidad de la PC total de la dieta. El elevado valor de NIDA se atribuye al calentamiento del SDDGS durante el proceso de secado (Wood et al. 2011, Owens 2008, Ham 1994).

Machacek y Kononoff (2009) detectaron que el NIDA no es completamente indigestible cuando proviene de alimentos no forrajeros. Por su parte Ham et al. (1994) evaluando niveles crecientes de NIDA (5,9%, 13,9% y 14,8%) en DDGS de maíz, determinaron que el valor de NIDA no es un buen predictor del valor proteico de los granos de destilería. Un mayor contenido de NIDA, como causa de la inclusión de granos de destilería secos en la dieta, no se tradujo en una menor disponibilidad de la proteína (Ham et al. 1994, Weiss et al, 1989).

Cuadro 4. Composición química analítica de la dieta ofrecida y consumida según nivel de inclusión de SDDGS en la misma.

| | Dieta ofrecida | | | | Dieta consumida | | | |
|-------------------------|-------------------------------|------|------|------|-----------------|------|------|------|
| | Nivel de inclusión de SDDGS % | | | | | | | |
| Composición química % | 0 | 15 | 30 | 45 | 0 | 15 | 30 | 45 |
| Materia seca | 93,7 | 92,6 | 91,9 | 91 | 93,7 | 92,6 | 91,9 | 90,8 |
| Proteína cruda | 15,2 | 15,2 | 16,9 | 17,5 | 15,0 | 15,4 | 16,9 | 17,7 |
| NIDA ¹ | 3,3 | 4,0 | 5,5 | 7,0 | 3,3 | 4,1 | 5,6 | 7,0 |
| Fibra detergente neutro | 25,5 | 32,6 | 34,5 | 39,1 | 24,8 | 32,9 | 34,5 | 39,0 |
| Fibra detergente ácido | 13,9 | 17,3 | 17,0 | 19,6 | 13,6 | 17,4 | 17,1 | 19,4 |
| Extracto etéreo | 3,1 | 3,4 | 4,1 | 4,7 | 3,1 | 3,4 | 4,0 | 4,6 |
| Cenizas | 1,5 | 1,1 | 1,3 | 2,7 | 1,2 | 0,9 | 1,3 | 2,7 |
| CNE ² | 54,7 | 47,7 | 43,2 | 36 | 55,9 | 47,4 | 43,3 | 36 |

¹Nitrogeno insoluble en detergente ácido expresado como $N \times 6,25$

²Carbohidratos no estructurales = CNE % = $100\% - (\text{FDN \%} + \text{PC \%} + \text{EE \%} + \text{Cenizas \%})$

El valor alimenticio del SDDGS, respecto a la mezcla de grano de sorgo y harina de soja que reemplaza (RTM 0, valor alimenticio = 100%), fue del 85%, 96% y 67%, para niveles de inclusión de 15%, 30% y 45% de SDDGS en la dieta, respectivamente. Esto significa que un nivel de inclusión de 45% de SDDGS, en sustitución de sorgo grano y harina de soja, provocó una reducción del 33% del valor alimenticio.

Contrariamente, Elizalde y Riffel (2012), determinaron el valor alimenticio del DDG de maíz, incluidos en niveles hasta 40% de la materia seca de la RTM, resultando en un 15% superior respecto al maíz grano sustituido. Cuando el nivel de inclusión supera el 40% el valor alimenticio cae, representando un 91% del valor alimenticio del maíz (Elizalde y Riffel, 2012). Estos autores explican este incremento en el valor alimenticio debido a un menor riesgo de acidosis subclínica, al incrementarse el contenido de fibra digestible en sustitución de almidón, y a un incremento en el contenido de lípidos, incrementando la concentración energética del

alimento. Si bien, en las RTM evaluadas aumentó el contenido de FDN y EE con el agregado de SDDGS, el valor nutritivo de las mismas no se vio incrementado.

Rivera y Parish (2010) estiman el valor relativo de las dietas en base al CMS y la digestibilidad de la MS. Sin embargo, los resultados obtenidos en este experimento, no mostraron modificaciones en el CMS ($P \geq 0,26$) (Cuadro 6) con el agregado de SDDGS en la dieta.

Por otro lado, niveles crecientes de SDDGS provocaron una disminución lineal en el contenido de ENm y ENg ($P = 0,05$) de la dieta (Cuadro 5). Esta reducción en EN, podría entonces, estar relacionado con la caída en valor nutritivo de las RTM evaluadas cuando se incorporó SDDGS en las mismas.

Cuadro 5. Energía neta (EN) de mantenimiento y ganancia estimada para cada una de las dietas evaluadas según nivel de inclusión de SDDGS.

| | Nivel de inclusión de SDDGS | | | | Error estándar | Significancia | |
|------------------|-----------------------------|------|------|------|----------------|---------------|------------|
| | 0% | 15% | 30% | 45% | | Lineal | Cuadrático |
| EN mantenimiento | 1,73 | 1,70 | 1,73 | 1,58 | 0,046 | 0,05 | 0,20 |
| EN ganancia | 1,11 | 1,08 | 1,11 | 0,98 | 0,040 | 0,05 | 0,20 |

La reducción de la ENg coincide con los reportado por Lodge et al. (1997). Estos autores reportaron una menor ENg en el SDDGS respecto a los granos húmedos de sorgo, atribuyendo esta respuesta a un menor contenido de lípidos y almidón. Contrariamente Vander Pol et al. (2009), Nelson et al. (2004) reportan una reducción de la ENg debido a un exceso de lípidos en la dieta que pueda afectar la digestibilidad de la fibra. En esta misma línea, Ham et al. (1994) atribuyen la reducción en la ENg a una reducción en la digestibilidad de la fibra.

El contenido de nutrientes digestibles totales (NDT), como estimador del contenido energético de las dietas, calculado en relación al contenido de FDA (Rivera y Parish, 2010) fue de 78,3%, 75,7%, 75,9% y 74,26%, para 0%, 15%, 30% y 45% de SDDGS en la dieta, respectivamente. Estos valores de NDT obtenidos se encuentran entre los rangos normales para dietas concentradas (70-80%); sin

embargo, el contenido de NDT se vio disminuido con el agregado de SDDGS en las RTM evaluadas. Este resultado también podría explicar la reducción en el valor nutritivo de las mismas.

3.1.2. Performance y crecimiento animal

El consumo de MS, tanto expresado en kg consumidos por día (kg/d; $P = 0,37$), como en relación al peso vivo (% PV; $P = 0,43$) no presentó diferencias entre tratamientos (Cuadro 6). Estos resultados coinciden con lo reportado por Wood et al. (2011), Leibovich et al. (2009), Vasconcelos et al. (2007) evaluando WDG de sorgo.

Sin embargo, Simeone et al. (2016) reportan que niveles crecientes de SDDGS en sustitución de sorgo grano en la dieta, provocaron un aumento lineal en el CMS ($P < 0,01$), al igual que May et al. (2010), Al-Suwaiegh et al. (2002), Fanning et al. (1999) para WDG de sorgo.

Vasconcelos et al. (2007) si bien no registraron diferencias en CMS con el agregado de SDDGS, esperaban un incremento en el consumo como respuesta a una dilución de la concentración energética de la dieta. Esto coincide con los reportado por May et al. (2010), quienes explican el incremento en el CMS como compensación a la dilución energética de la dieta causada por un mayor contenido de FDA. A pesar de que los resultados obtenidos en este experimento muestran un incremento en la concentración de FDA y una reducción en el contenido de EN, el CMS no se vio modificado con el agregado de SDDGS en la dieta.

La GMD presentó una respuesta cuadrática ($P = 0,0047$) (Cuadro 6) incrementando su valor desde 0% a 20,5% de inclusión de SDDGS, a pesar de que la ENg disminuyó en forma lineal. Varios autores atribuyen esta respuesta a una menor presencia de acidosis subaguda, debido a una reducción del contenido de almidón y un incremento en el contenido de fibra de la dieta (May et al. 2010, Al-Suwaiegh et al. 2002, Fanning et al. 1999), tal como se constató a medida que se incrementó el nivel de SDDGS en la RTM.

Cuadro 6. Consumo de materia seca (CMS), ganancia media diaria de peso vivo (GMD) y eficiencia de conversión (EC) en terneros según nivel de inclusión de SDDGS en la dieta.

| | Nivel de inclusión de SDDGS | | | | Error estándar | Significancia | |
|-------------------------|-----------------------------|------|------|------|----------------|---------------|------------|
| | 0% | 15% | 30% | 45% | | Lineal | Cuadrática |
| CMS (kg/d) | 7,48 | 8,3 | 8,28 | 8,18 | 0,38 | 0,23 | 0,23 |
| CMS (%PV) | 2,95 | 3,18 | 3,12 | 3,17 | 0,11 | 0,23 | 0,41 |
| GMD ¹ (kg/d) | 1,65 | 1,84 | 1,79 | 1,51 | 0,04 | 0,22 | 0,005 |
| EC ² | 4,52 | 4,64 | 4,63 | 5,39 | 0,29 | 0,009 | 0,12 |

¹GMD = $-0,0005x^2 + 0,0205x + 1,6482$, $R^2 = 0,99$. ²EC = $0,0171x + 4,4103$, $R^2 = 0,69$

La GMD máxima (1,86 kg/d) se obtuvo con un nivel de inclusión de 20,5% de SDDGS. Esta respuesta coincide con la reportada por Buckner et al. (2008) y Klopfenstein et al. (2008), quienes observaron valores máximos de GMD con niveles de inclusión de 20% y 30% para DDGS y WDGS de maíz, respectivamente. Antecedentes nacionales no reportan diferencias en GMD tanto en categorías en terminación como en terneros de destete precoz consumiendo raciones con hasta 30% y 45% de SDDGS, respectivamente (Simeone et al., 2016).

La EC se vio afectada negativamente con un incremento lineal ($P = 0,009$) en su valor (Cuadro 6). Por lo tanto, por cada 1% de aumento en el nivel de inclusión de SDDGS en la dieta fueron necesarios 17g extra de alimento/kg de peso vivo ganado. La peor EC obtenida con niveles crecientes de SDDGS en la dieta se puede atribuir a la reducción en GMD, registrada a partir de 20,5% de inclusión de SDDGS, a igual nivel de CMS.

May et al. (2010), Wood et al. (2011), Leibovich et al. (2009), Vasconcelos et al. (2007) también reportan una caída en la eficiencia de conversión como respuesta al agregado de granos de destilería de sorgo en la dieta, pero atribuyen esta respuesta, no solo, a una menor GMD obtenida, sino también a una menor digestibilidad de la proteína.

Vasconcelos y Galyean (2008) reportan una correlación negativa entre la energía neta de la dieta y la eficiencia de conversión. Por lo cual el aumento lineal en

el valor de la EC registrado, podría explicarse por la reducción en la ENg de la dieta y en el valor alimenticio de la misma, a medida que se incrementó el contenido de SDDGS en la RTM.

El crecimiento de los terneros se vio afectado por el nivel de inclusión de SDDGS en la dieta (Cuadro 7), registrándose un aumento cuadrático en el PV a la salida del corral ($P = 0,046$), con un PV final máximo de 232 kg para 19% de inclusión de SDDGS.

El AOB también presentó una respuesta cuadrática ($P = 0,037$) al agregado de SDDGS, alcanzando su máximo en 49,4 cm², con un nivel de inclusión de 18,2% (Cuadro 7). No se detectaron diferencias en espesor de grasa dorsal (EGD = 5,15 ± 0,17 mm; $P = 0,95$) ni en la altura al anca final. Existe una elevada correlación genética ($> 0,7$) entre el AOB medida mediante ultrasonografía y la cantidad total de músculo depositada (Bertrand et al., 2001). Por lo tanto, niveles de inclusión superiores a 18,2% de SDDGS habrían afectado el desarrollo de los terneros, provocando un cambio en la composición de la ganancia o una composición corporal diferente, con una menor relación músculo / grasa, reflejada en la caída en AOB con igual nivel de EGD con niveles de inclusión de SDDGS mayores a 18,2%.

La respuesta registrada para AOB es consistente con la respuesta en GMD ($P = 0,0047$) y peso vivo final ($P = 0,046$). Por lo cual, se obtuvo un animal con menor peso vivo final, menor AOB e igual EGD para un nivel de inclusión de 45% de SDDGS, en comparación con niveles de inclusión entre 15% y 30% de SDDGS. Mismos niveles de inclusión para granos de destilería de maíz, son también reportados como óptimos para este tipo de alimento en categorías en terminación (Buckner et al. 2008, Klopfenstein et al. 2008).

Según lo reportado por Luebbe et al. (2012), Ham et al. (1994), el agregado de DDGS en la dieta provocaría un aumento de la PNDR, incrementando la eficiencia de utilización de la proteína a través de la digestión intestinal. A pesar de esto, esta posible mejora no se vio reflejada en la GMD, AOB y PV final, los cuales cayeron con niveles de inclusión mayores al 20% de SDDGS. Bruni et al (2014) reportan un mayor contenido de PNDR en el WDG de sorgo respecto al grano de sorgo, pero con una baja eficiencia de utilización de la PNDR, con una digestión

intestinal de 51,1%. Una baja utilización de la PNDR podría explicar la caída abrupta en GMD y AOB con 45% de inclusión de SDDGS en la RTM.

Cuadro 7. Efecto del nivel de inclusión de SDDGS en la dieta sobre el crecimiento y desarrollo de los terneros.

| | Nivel de inclusión de SDDGS | | | | Error estándar | Significancia | |
|------------------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|----------------|---------------|------------|
| | 0% | 15% | 30% | 45% | | Lineal | Cuadrático |
| Peso vivo inicial, kg | 195,1 | 198,9 | 200,5 | 200,8 | 7,59 | 0,44 | 0,74 |
| Peso vivo final ¹ , kg | 313,9 | 320,5 | 321,9 | 303,9 | 6,85 | 0,29 | 0,046 |
| AA ² inicial, cm | 105,6 | 107,9 | 108,4 | 107,8 | 1,09 | 0,17 | 0,19 |
| AA final, cm | 113,6 | 115,9 | 115,6 | 115 | 1,30 | 0,49 | 0,26 |
| Peso vivo/AA inicio | 1,85 | 1,84 | 1,85 | 1,86 | 0,04 | 0,78 | 0,82 |
| Peso vivo/AA fin | 2,93 | 2,97 | 2,99 | 2,84 | 0,08 | 0,52 | 0,21 |
| AOB ³ , cm ² | 46,65 | 49,91 | 47,78 | 44,15 | 1,57 | 0,18 | 0,037 |
| EGD ⁴ , mm | 5,18 | 5,23 | 5,3 | 4,91 | 0,49 | 0,75 | 0,66 |

¹Peso vivo final= $-6,15x^2 + 27,89x + 291,45$; $R^2 = 0,95$.

²Altura al anca

³Área ojo de bife= $-0,0077x^2 + 0,2802x + 46,846$; $R^2 = 0,96$

⁴Espesor de grasa dorsal

Valores de 5mm de espesor de grasa dorsal, como los obtenidos en el presente trabajo, se encuentran aún muy lejanos de los valores de EGD esperados en novillos terminados en confinamiento, desde 18 a 25 mm (Simeone et al., 2016). Esto demuestra que no se produjo un sobre engrasamiento en estos animales jóvenes. Wood et al. (2011), Fanning et al. (1999) reportan que animales consumiendo SDDGS alcanzan el espesor de grasa dorsal objetivo para faena con menor peso vivo, en comparación con aquellos que consume DDGS de maíz. Esta respuesta es atribuida a una menor ganancia registrada durante el período de crecimiento, y estaría indicando la ocurrencia de crecimiento compensatorio.

3.2 EXPERIMENTO 2: EFECTO DE NIVELES CRECIENTES DE DDGS DE SORGO SOBRE LA FERMENTACIÓN RUMINAL Y LA DIGESTIÓN DE LOS NUTRIENTES

3.2.1 Caracterización de la dieta, comportamiento y digestibilidad

La caracterización nutricional del SDDGS utilizado en este experimento fue de 91% MS, 8% cenizas, 29% PC, 2,1% NIDA (% N), 50% FDN, 20% FDA, 9% EE y 5 Mcal/kg EB. Respecto al SDDGS utilizado en el Experimento 1, presentó mayor contenido de PC, EE y cenizas, a pesar de que ambos provenían de una única partida. Los valores de NIDA no variaron, representando un 45% de la PC total, lo cual podría afectar su digestibilidad (Machacek y Kononoff, 2009). Sin embargo, Ham et al. (1994), Weiss et al. (1989) reportaron que la digestibilidad de la PC de granos de destilería secos no fue afectada directamente por el contenido de NIDA.

La degradabilidad ruminal del SDDGS fue evaluada en los mismos 4 tratamientos con niveles crecientes de SDDGS, para detectar algún efecto causado por un ambiente ruminal diferente. Estos datos se encuentran descriptos en el Anexo 6.1. La degradabilidad de la MS del SDDGS no fue afectada por los diferentes ambientes ruminales generados por las distintas RTM. En comparación con el grano de sorgo, como componente principal a ser sustituido, el SDDGS presentó menor degradabilidad potencial de la MS (66% versus 88%) según valor reportado por Arieli et al. 1995.

Sin embargo, al aumentar el nivel de SDDGS en la dieta, la degradabilidad ruminal, así como la tasa de degradación, para la fracción PC ($P \geq 0,01$) del SDDGS, presentó una tendencia cuadrática con incrementos crecientes. Estos resultados demuestran que el elevado contenido de NIDA no afectó la degradabilidad ruminal de la PC de los granos de destilería.

Las cuatro RTM formuladas cumplieron con el propósito de ser isonitrogenadas, sin diferencias significativas en el contenido de PC (Cuadro 8). La proporción de NIDA se incrementó a mayores niveles de SDDGS (Cuadro 8), al

igual que en el experimento 1. Como respuesta del agregado de SDDDG también se incrementó linealmente la concentración de FDN, FDA y EE (Cuadro 8).

Cuadro 8. Composición química de la dieta ofrecida según nivel de inclusión de DDGS en la dieta.

| Composición química | Nivel de inclusión de DDGS | | | | EE ¹ | Significancia | |
|---------------------------|----------------------------|------|------|------|-----------------|---------------|------------------|
| | 0% | 15% | 30% | 45% | | Lineal | Cua ² |
| Materia seca % | 93,2 | 92,6 | 92 | 91,7 | 0,19 | 0,001 | 0,48 |
| Proteína cruda % | 18,8 | 17,9 | 18,5 | 18,7 | 0,50 | 0,92 | 0,30 |
| NIDA ³ % | 2,6 | 4,2 | 5,9 | 7,3 | 0,03 | <0,0001 | 0,76 |
| Fibra detergente neutro % | 22,3 | 30,2 | 34,6 | 37,7 | 0,76 | <0,0001 | 0,09 |
| Fibra detergente ácido % | 13,5 | 15,3 | 17,4 | 19,3 | 0,31 | <0,0001 | 0,96 |
| Extracto etéreo % | 2,3 | 3,2 | 4,2 | 5,3 | 0,25 | 0,0001 | 0,83 |
| Cenizas % | 8,0 | 4,4 | 5,6 | 6,1 | 0,76 | 0,24 | 0,03 |
| EB ⁴ Mcal / kg | 3,96 | 4,26 | 4,39 | 4,45 | 0,03 | < 0.0001 | 0,01 |
| ED ⁵ Mcal / kg | 3,27 | 3,48 | 3,61 | 3,65 | 0,15 | 0,11 | 0,59 |
| EM ⁶ Mcal / kg | 2,65 | 2,82 | 2,92 | 2,96 | 0,12 | 0,11 | 0,59 |

¹Error estándar.

²Cuadrática.

³Nitrógeno insoluble en detergente ácido expresado como N × 6,25

⁴Energía bruta

⁵Energía digestible

⁶Energía metabolizable

El agregado de SDDGS provocó niveles de NIDA mayores al valor crítico de 15% de la proteína total (Mieres, 1996), con un máximo de 39% de la PC total para 45% de inclusión de SDDGS en la TMR. Sin embargo, Ham et al (1994) reportan que, para el caso de los granos de destilería, mayores niveles de NIDA, como consecuencia del efecto del secado, incrementan la proporción de proteína pasante sin afectar la eficiencia de utilización de la misma en categorías en crecimiento. Esto coincide con lo reportado por Xu et al. (2013) y Lodge et al. (1997), y con los

valores registrados para DIG de la PC, la cual no se vio afectada con el agregado de SDDGS en la dieta (Cuadro 9).

Las diferencias generadas entre tratamientos en la composición química de la dieta consumida siguieron las mismas tendencias reportadas para la dieta ofrecida, lo cual demuestra que no hubo selección a favor de algún componente. Niveles crecientes de inclusión de SDDGS en la dieta provocaron un incremento lineal en el consumo de FDN y EE (Cuadro 9).

El consumo de MS, MS digestible y MO no fue afectado por el nivel de SDDGS en la dieta (Cuadro 9), lo cual coincide con lo reportado por Wood et al. (2011), Leibovich et al. (2009), Vasconcelos et al. (2007) evaluando granos de destilería húmedos de sorgo. Vander Pol et al. (2009), Ham et al. (1994) evaluando granos de destilería húmedos de maíz tampoco reportan diferencias en CMS. Sin embargo, Simeone et al. (2016), Lodge et al (1997) registraron un aumento en el CMS evaluando SDDGS. Lodge et al (1997) atribuyeron el incremento en CMS a un menor contenido de ENg respecto a los granos de destilería húmedos. Un incremento en CMS es una forma de compensar y obtener el consumo de energía total necesario. Esta respuesta coincide con la respuesta en CMS registrada en el experimento 1.

Niveles crecientes de SDDGS en la dieta provocaron una tendencia lineal a un mayor consumo de EM. Esta repuesta estaría explicada casi en su totalidad por el aumento en la concentración de EB de la dieta (Cuadro 8), ya que no hubo diferencias en CMS ni en la DIG de la energía (Cuadro 9).

Para la estimación de la energía metabolizable se asumió por igual un 9% de pérdidas en gases y orina para las cuatro RTM evaluadas. Este valor fijo es cuestionable ya que se podría esperar una menor proporción de producción de gas metano debido a un mayor contenido de EE, principalmente de ácidos grasos insaturados (Diaz-Royón, 2012). El DDGS es caracterizado por un elevado contenido de ácidos grasos insaturados, principalmente ácido oleico y linoleico, representando un 25% y 50% del total de ácidos grasos (Diaz-Royón, 2012). La biohidrogenación de estos ácidos grasos reduce la cantidad de hidrógeno disponible para la formación de metano (Santacoloma, 2011).

La DIG de la dieta no se vio modificada (Cuadro 9) con niveles crecientes de SDDGS. Sin embargo, en términos de digestibilidad de nutrientes se detectó una mayor DIG de la FDN a mayor nivel de inclusión de SDDGS (Cuadro 9). La DIG del FDN se incrementó en promedio un 26% entre el tratamiento con 0% y 45% de SDDGS. Esto evidenciaría la mayor digestibilidad de la fibra aportada por el SDDGS y el efecto positivo que un mayor nivel de SDDGS en la dieta presenta sobre la tasa de degradabilidad ruminal de la FDN del SDDGS (Anexo 6.1).

Xu et al. (2013), Luebbe et al. (2012), Ham et al. (1994) también reportan una mayor digestibilidad de la FDN, y lo atribuyen a la mayor degradabilidad de la FDN debida a una reducción en el contenido de almidón en la dieta que favorecería el medioambiente ruminal para la degradabilidad de la fibra

El mayor contenido de FDA de la dieta no afectó negativamente la DIG de la MS ni la DIG de la PC. Un incremento en la FDA se correlaciona positivamente con un mayor nivel de NIDA y menor digestibilidad de la PC (Machacek y Kononoff, 2009). Por lo cual estos resultados podrían evidenciar que el NIDA no sería completamente indigestible y que no afectaría directamente la digestibilidad de la PC, coincidiendo con lo reportado por Ham et al. (1994), Weiss et al. (1989).

Si bien se observó un incremento en el contenido y consumo de EE a mayor nivel de inclusión de SDDGS (Cuadro 9), este no superó el nivel máximo de inclusión para bovinos de 6% a 8 % MS (Cuadro 8) (Krehbiel et al. 1995, Zinn 1994, Zinn 1989). A pesar de esto, valores de consumo por encima de 4% pueden afectar la degradabilidad ruminal de la MS de la dieta, como producto de una menor tasa de degradabilidad y un aumento en la tasa de pasaje (Kreihebel et al., 1995).

La tasa de pasaje por el retículo-rumen no presentó diferencias significativas ($P = 0,24$) como respuesta a la inclusión de SDDGS en la dieta (Cuadro 9), lo cual se relaciona directamente con la ausencia de diferencias en el consumo total de MS.

Benchar et al. (2012), Lodge et al. (1997) reportan un incremento en la tasa de pasaje debido a una reducción en el tamaño de partícula de la dieta causado por la incorporación de granos de destilería, afectando también la digestibilidad total de la misma. En el presente trabajo el tamaño de partículas, evaluado a través del fef (proporción de partículas > 1,18 mm) no se vio afectado con el agregado de SDDGS

en la dieta en sustitución de sorgo grano molido y harina de soja (Cuadro 10). Las partículas con un tamaño mayor a 1,18 mm son las partículas retenidas en el rumen, caracterizadas por presentar una elevada resistencia al pasaje a través del mismo (Poppi et al., 1985).

Cuadro 9. Consumo y digestibilidad de la materia seca y de los nutrientes, tasa de pasaje y tiempo de retención según nivel de inclusión de SDDGS en la dieta.

| | Nivel de inclusión de SDDGS | | | | EE ¹ | Significancia | |
|----------------------------|-----------------------------|------|------|------|-----------------|----------------|----------------|
| | 0% | 15% | 30% | 45% | | L ² | C ³ |
| Consumo | | | | | | | |
| Materia seca kg | 11,3 | 13,2 | 13,5 | 12,7 | 0,87 | 0,27 | 0,17 |
| Materia seca digestible kg | 9,5 | 10,9 | 11,4 | 10,8 | 0,85 | 0,30 | 0,29 |
| Materia orgánica kg | 9,7 | 11,7 | 11,7 | 10,9 | 0,72 | 0,31 | 0,11 |
| Proteína cruda % | 20,5 | 18,5 | 18,5 | 18,9 | 1,32 | 0,46 | 0,39 |
| Fibra detergente neutro % | 20,3 | 27,9 | 33,3 | 36,4 | 0,78 | <0,0001 | 0,03 |
| Extracto etéreo % | 2,5 | 3,3 | 4,2 | 5,3 | 0,30 | 0,0004 | 0,62 |
| EM ⁴ kg Mcal/d | 29,8 | 36,7 | 39,4 | 38,3 | 3,08 | 0,09 | 0,24 |
| Digestibilidad, % | | | | | | | |
| Materia seca | 84,1 | 84,1 | 84,5 | 84,1 | 2,58 | 0,82 | 0,87 |
| Materia orgánica | 86,0 | 84,4 | 84,3 | 84,4 | 2,39 | 0,65 | 0,73 |
| Proteína cruda | 88,2 | 84,4 | 84,8 | 83,7 | 2,51 | 0,28 | 0,61 |
| Fibra detergente neutro | 63,2 | 72,1 | 77,0 | 79,6 | 4,56 | 0,038 | 0,51 |
| Extracto etéreo | 84,9 | 71,9 | 77,2 | 79,7 | 2,36 | 0,37 | 0,02 |
| Energía bruta | 82,6 | 81,7 | 82,3 | 82,1 | 3,41 | 0,96 | 0,93 |
| Tasa de pasaje % / h | 6,74 | 8,25 | 8,88 | 8,49 | 0,69 | 0,11 | 0,22 |
| Tiempo de retención h | 16,4 | 12,3 | 11,3 | 12,5 | 1,98 | 0,19 | 0,23 |

¹Error estándar

²L: Lineal

³C: Cuadrática

⁴Energía metabolizable

Si bien los valores obtenidos de tasa de pasaje no difirieron estadísticamente entre tratamientos, el agregado de SDDGS en la dieta provocó, en promedio, un aumento en la tasa de pasaje de 27%, lo cual se tradujo en 4 horas menos de retención del alimento en el rumen. Esta respuesta se debe a la tendencia lineal de incremento en el consumo de EM, y puede afectar la degradabilidad ruminal efectiva de los nutrientes.

Cuadro 10. Efecto de niveles crecientes de SDDGS en la dieta sobre el factor de efectividad de la fibra (fef) y la fibra físicamente efectiva (FDNfe, % MS) en la dieta ofrecida y rechazos.

| | Nivel de inclusión de SDDGS | | | | Error estándar | Significancia | |
|--|-----------------------------|------|------|------|----------------|---------------|------------|
| | 0% | 15% | 30% | 45% | | Lineal | Cuadrática |
| Factor de efectividad de la fibra ¹ | | | | | | | |
| Ofrecido | 0,52 | 0,70 | 0,53 | 0,64 | - | - | - |
| Rechazo | 0,60 | 0,54 | 0,59 | 0,53 | 0,05 | 0,54 | 0,93 |
| FDN ² ofrecido | 22,6 | 29,2 | 33,7 | 36,9 | 0,83 | <0,0001 | 0,09 |
| FDNfe ³ ofrecido | 13,5 | 17,5 | 20,1 | 22,1 | 0,55 | <0,0001 | 0,11 |
| FDN rechazo | 41,9 | 38,1 | 42,0 | 45,0 | 3,24 | 0,41 | 0,34 |
| FDNfe rechazo | 25,0 | 20,4 | 26,5 | 24,2 | 3,44 | 0,84 | 0,72 |

¹ Factor de efectividad de la fibra = fef= proporción de partículas retenidas en una malla > a 1,18 mm

² FDN = Fibra detergente neutro, %

³ FDNfe = FDN × fef

Si bien no se registraron diferencias en el fef de las RTM como respuesta al agregado de SDDGS en la dieta, el contenido de FDNfe de la dieta ofrecida se incrementó de forma lineal ($P < 0,001$), debido al mayor contenido de FDN de las dietas con SDDGS (Cuadro 10). Sin embargo, en los rechazos desapareció la diferencia en FDNfe, y en términos numéricos el contenido de FDNfe se incrementó respecto al ofrecido, lo cual podría mostrar una selección en contra de las partículas más grandes y fibrosas.

El contenido de FDNfe de las RTM evaluadas, con niveles crecientes de inclusión de SDDGS, se encuentra dentro de los rangos recomendados para dietas altamente concentradas, 10 a 25 % MS, según lo reportado por Mertens (2002).

La probabilidad de hallar a un animal consumiendo alimento, rumiando, descansando o bebiendo agua no difirió estadísticamente entre tratamientos (Figura 2). Es importante destacar la reducida actividad de rumia, la cual pudo estar ocasionada por la ausencia de una fuente de fibra larga en la dieta. Sin embargo, autores como Arnold (1981), Balocchi et al. (2002) determinaron que la actividad de rumia ocurre principalmente en horas nocturnas, lo cual equivaldría a un 50-70% de la rumia total.

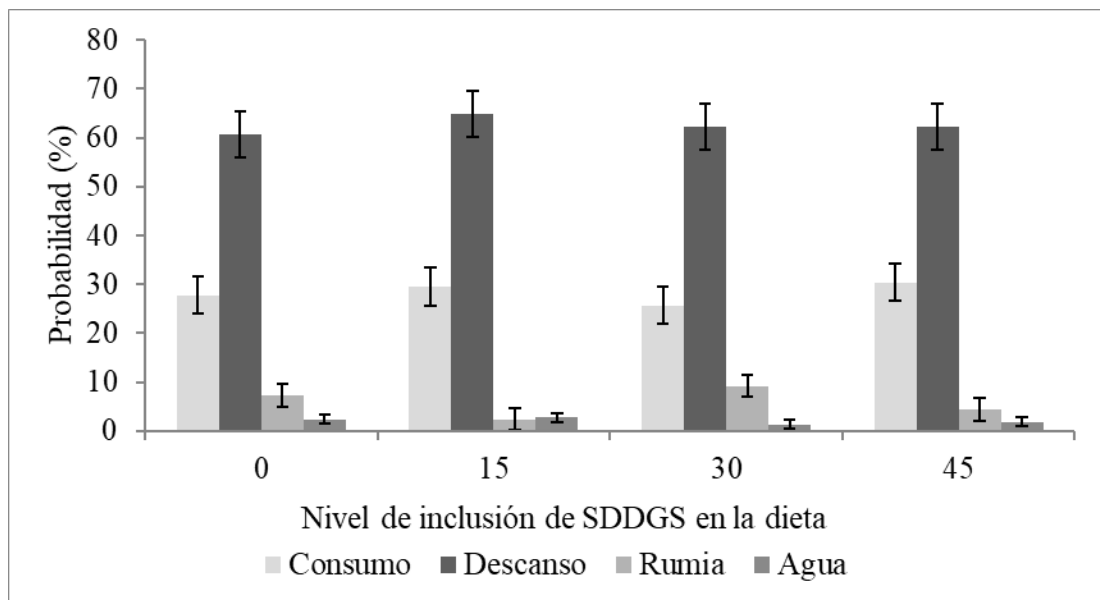


Figura 2: Probabilidad de ocurrencia de consumo de alimento, rumia, descanso y consumo de agua durante las horas luz.

3.2.2 Degradabilidad y productos de la fermentación ruminal

La degradabilidad total (a + b) de la MS se vio reducida de manera lineal con la inclusión de SDDGS en la dieta ($P = 0,001$) al igual que la de la PC ($P = 0,01$), (Cuadro 11). La reducción en la degradabilidad ruminal de la MS, coincide con los antecedentes reportados por Kreihebel et al. (1995), donde esta respuesta es atribuida

a un consumo de lípidos mayor al 4%, el cual es superado en las dietas con 30% y 45% de inclusión de SDDGS.

La menor degradabilidad ruminal de la PC podría ser una ventaja a nivel nutricional, ya que no se vio afectada la digestibilidad total de la misma (Cuadro 9), sugiriendo un cambio en el sitio de digestión de la proteína en la dieta. Para confirmar este resultado, y determinar la digestibilidad real de esta fracción, es necesario estimar el valor de pérdidas endógenas generada con cada una de las dietas evaluadas. Esta medida no fue realizada en el presente estudio.

Si bien el DDGS es caracterizado por un elevado contenido de PNDR, (Bruni et al. 2014, Luebbe et al. 2012, Kleinschmit et al. 2007, NRC 1996, Ham et al. 1994), el sorgo grano también se caracteriza por su PC de lenta degradabilidad.

Para el caso de la FDN no hubo diferencias entre tratamientos en términos de degradabilidad potencial, pero sí en la tasa de degradación, con una tendencia a incrementarse linealmente ($P = 0,06$) con mayor nivel de inclusión de SDDGS en la dieta (Cuadro 11). Una mayor tasa de degradación demuestra un cambio en la calidad de la FDN, incrementándose la calidad de la misma en los tratamientos con 15%, 30% y 45% de SDDGS respecto al tratamiento 0% SDDGS, tal como se explicaba anteriormente al analizar su mayor digestibilidad.

Si bien, la degradabilidad potencial de la MS se redujo linealmente entre 75% y 65% al aumentar el SDDGS en la dieta, la degradabilidad efectiva de la MS fue igual para los cuatro tratamientos (Cuadro 11). Una misma degradabilidad efectiva de la MS para las cuatro RTM evaluadas es coherente con la ausencia de diferencias en los valores de ED estimados (Cuadro 8). La elevada tasa de pasaje provocó una reducción promedio de 14,5% en la degradabilidad potencial de la dieta, lo cual podría afectar el aprovechamiento de la misma. Regular el CMS, o el consumo de EM puede ser una forma de reducir la tasa de pasaje. La degradabilidad efectiva de la PC también se vio reducida respecto a la degradabilidad potencial, en un 12%, y se mantuvo la respuesta lineal ($P = 0,02$) de menor degradabilidad efectiva con mayor nivel de SDDGS en la dieta.

Cuadro 11. Efecto de niveles crecientes de SDDGS en la dieta sobre los parámetros de degradabilidad *in situ* de la materia seca, proteína cruda y fibra detergente neutro.

| | Nivel de inclusión de SDDGS | | | | Error estándar | Significancia | |
|------------------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|----------------|---------------|------------|
| | 0% | 15% | 30% | 45% | | Lineal | Cuadrática |
| Materia seca (%) | | | | | | | |
| a ¹ | 17,56 | 15,63 | 17,29 | 16,63 | 1,27 | 0,85 | 0,64 |
| b ² | 57,72 | 60,09 | 50,61 | 49,23 | 1,52 | 0,002 | 0,26 |
| a + b ³ | 75,28 | 75,72 | 67,9 | 65,85 | 1,37 | 0,001 | 0,40 |
| c ⁴ %/h | 0,3 | 0,34 | 0,47 | 0,46 | 0,07 | 0,09 | 0,74 |
| DE ⁵ | 62,1 | 63,2 | 59,4 | 58,3 | 2,29 | 0,19 | 0,65 |
| Proteína cruda (%) | | | | | | | |
| a | 28,63 | 10,17 | 21,12 | 24,13 | 3,22 | 0,87 | 0,02 |
| b | 52,5 | 61,56 | 45,6 | 39,42 | 3,59 | 0,01 | 0,08 |
| a + b | 81,12 | 71,73 | 66,72 | 63,55 | 3,59 | 0,01 | 0,42 |
| c %/h | 0,57 | 0,51 | 0,46 | 0,52 | 0,21 | 0,83 | 0,78 |
| DE | 69,2 | 63,0 | 58,7 | 57,7 | 2,81 | 0,02 | 0,39 |
| Fibra detergente neutro (%) | | | | | | | |
| a | 18,39 | 18,41 | 18,90 | 13,17 | 5,11 | 0,53 | 0,59 |
| b | 52,93 | 46,36 | 46,52 | 47,74 | 7,53 | 0,66 | 0,62 |
| a + b | 71,32 | 64,77 | 65,42 | 60,91 | 8,36 | 0,44 | 0,91 |
| c %/h | 0,07 | 0,14 | 0,26 | 0,35 | 0,09 | 0,06 | 0,93 |
| DE | 39,2 | 45,2 | 40,2 | 44,7 | 3,96 | 0,54 | 0,85 |

¹Fracción soluble

²Fracción no soluble

³Fracción potencialmente degradable

⁴Tasa de degradabilidad

⁵Degradabilidad efectiva = $a + (b \times c) / (c + kp)$ Ørskov y McDonald (1979), siendo kp la tasa de pasaje de la fracción sólida estimada para cada tratamiento (Cuadro 9).

Es importante destacar la reducción en la degradabilidad efectiva de la FDN cuando es ajustada por la tasa de pasaje, principalmente para los tratamientos incluyendo SDDGS. La caída porcentual promedio fue de 35%, lo cual es relevante

para un alimento caracterizado por su aporte energético a través del contenido de fibra altamente digestible.

El pH ruminal promedio no se vio afectado con la inclusión de SDDGS en la dieta (Cuadro 12), a pesar de que se podría esperar un aumento en el valor del mismo, debido a que se sustituyó una fuente de almidón como es el grano de sorgo por el SDDGS, con tres veces más contenido de fibra (16 vs 50% FDN), y mayor contenido de FDNfe (Cuadro 10).

La ausencia de variación en el pH debido a la inclusión de SDDGS en la dieta, coincide con los antecedentes reportados por Benchaar et al. (2013), Luebbe et al. (2012), Vander Pol et al. (2009), Ham et al. (1994). Xu et al (2013) reportaron una reducción en la FDNfe de la dieta con el agregado de DDGS de maíz, sin embargo, ello no provocó cambios en el pH ruminal. Según estos autores el impacto en la reducción del contenido de almidón de la dieta es de mayor importancia respecto al contenido de FDNfe.

Los valores de pH registrados fueron bajos, respecto al valor de pH normal esperado en bovinos (6,4), lo cual se puede atribuir a la elevada concentración de la dieta ofrecida, con 92% de concentrados. Estos bajos valores de pH no afectaron la degradabilidad de la fibra, a pesar que con valores de pH ruminal menores a 6,5 se puede afectar la actividad de las bacterias celulolíticas. Las bacterias metanogénicas también ven afectada su actividad con pH menores a 6,5 (Santacoloma, 2011). Esto sugiere una posible menor producción de gas metano y como consecuencia una menor pérdida de energía digestible en producción de gases.

Si bien, tampoco, hubo diferencias estadísticamente significativas en el tiempo que el pH se mantuvo por debajo de 6,0, el tratamiento incluyendo 15% de SDDGS presentó un mayor valor, lo cual podría indicar una fermentación más intensa. Esta tendencia también se puede observar en la Figura 3, en la cual se observa la variación del pH durante el día.

En cada una de las horas en las que se midió pH no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (interacción tratamiento x hora; $P = 0,99$), a pesar de esto, en promedio para todos los tratamientos el pH inicial fue igual al pH final

(24hs), lo cual demuestra que el animal recuperó su valor de pH inicial previo a la alimentación (6,3_a, 5,36_b, 5,31_b, 5,35_b, 5,4_b, 6,03_a) ($P < 0.0001$).

Cuadro 12. Caracterización del pH ruminal, concentración de amonio y ácidos grasos volátiles (AGV) según nivel de inclusión de SDDGS en la dieta.

| | Nivel de inclusión de SDDGS | | | | Error estándar | Significancia | |
|--------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|----------------|---------------|------------|
| | 0% | 15% | 30% | 45% | | Lineal | Cuadrática |
| pH ruminal | | | | | | | |
| pH promedio | 5,67 | 5,43 | 5,76 | 5,64 | 0,17 | 0,78 | 0,75 |
| pH mínimo | 5,22 | 5,00 | 5,32 | 5,17 | 0,098 | 0,77 | 0,75 |
| Hora mínimo ¹ | 9,00 | 6,00 | 6,75 | 9,00 | 1,77 | 0,93 | 0,19 |
| Caída pH/h ² | 0,29 | 0,27 | 0,36 | 0,32 | 0,098 | 0,71 | 0,94 |
| pH < 6,0 h/d | 10,84 | 15,59 | 8,19 | 11,12 | 4,28 | 0,74 | 0,84 |
| Amonio | | | | | | | |
| N-NH ₄ µg/mL | 380,9 | 296,5 | 199,5 | 211,6 | 25,32 | <0,0001 | 0,08 |
| AGV Mm/L | | | | | | | |
| Acetato | 47,28 | 53,09 | 39,81 | 40,24 | 4,83 | 0,14 | 0,59 |
| Propionato | 24,55 | 29,93 | 22,11 | 22,70 | 2,71 | 0,29 | 0,40 |
| Butirato | 4,77 | 6,26 | 5,03 | 4,81 | 0,60 | 0,68 | 0,17 |
| Isobutirato | 1,20 | 1,84 | 1,00 | 1,44 | 0,17 | 0,86 | 0,54 |
| Valérato | 1,72 | 2,27 | 1,46 | 2,01 | 0,45 | 0,97 | 0,99 |
| Isovalérato | 0,77 | 0,64 | 0,52 | 0,65 | 0,15 | 0,54 | 0,38 |
| A+P+B ³ | 76,60 | 89,28 | 66,95 | 67,75 | 7,80 | 0,20 | 0,47 |
| A:P Mm/Mm ⁴ | 1,88 | 1,97 | 1,80 | 1,82 | 0,12 | 0,52 | 0,76 |

¹horas post-alimentación (7:00 am).

²Velocidad primer caída en el valor de pH.

³Sumatoria de acetato, propionato y butirato

⁴Relación Acetato: propionato

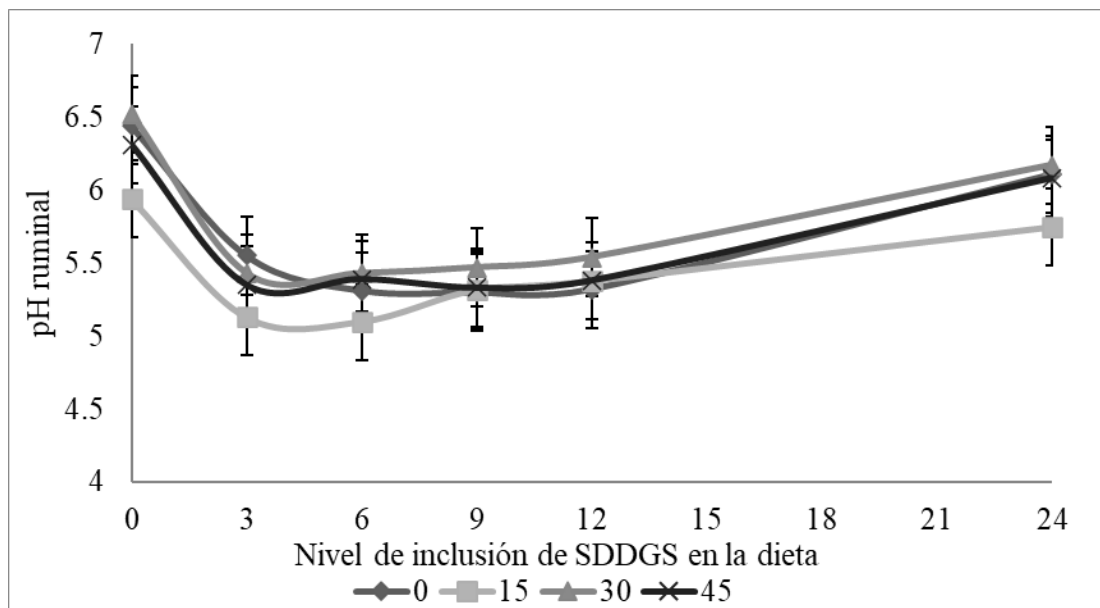


Figura 3. Efecto del nivel de inclusión, 0%, 15%, 30% y 45% de SDDGS sobre la variación del pH durante el día post alimentación (7:00 am).

La concentración de amonio disminuyó linealmente ($P < 0,0001$), a medida que se incrementó el nivel de inclusión de SDDGS en la dieta. Esta respuesta fue esperable debido a que la degradabilidad ruminal de la PC se vio reducida linealmente con la inclusión de SDDGS en la dieta (Cuadro 11), a pesar de que el consumo de proteína fue igual para todos los tratamientos. La reducción en la concentración de amonio en respuesta al incremento de SDDGS en la dieta coincide con los resultados reportados por Benchaar et al. (2013), quienes también lo relacionan con una reducción en la degradabilidad ruminal de la PC. La concentración de amonio no presentó diferencia entre horas ($P = 0,48$), ni interacción hora \times tratamiento ($P = 0,32$).

Mehrez et al. (1977) reportan un nivel de amonio mínimo de 235 mg/L para alcanzar la tasa máxima de fermentación ruminal. Sin embargo, Satter y Slyter (1974) reportaron un nivel mínimo de 50 mg/L de amonio para alcanzar la síntesis de proteína microbiana máxima. Los valores de concentración de amonio alcanzados en el experimento no deberían limitar la síntesis de proteína microbiana. Otra de las razones de la disminución en la concentración de amonio podría deberse a una

reducción en el contenido de energía fermentable en rumen (NRC 1996, Satter y Slyter 1974) y una menor degradabilidad ruminal de la MS (Mehrez et al., 1977).

La concentración de AGV no se vio modificada con el agregado de SDDGS en la dieta. Los antecedentes reportan una reducción en la concentración de acetato, y un incremento en la concentración de propionato. Esto último podría deberse a un incremento en el consumo de EE que favorece la formación de propionato (Leupp et al., 2009), resultando en una reducción de la relación acetato: propionato, lo cual significa un incremento en la eficiencia energética (Xu et al., 2013).

Se determinó una tendencia lineal de incremento en el consumo de EM, explicado por un incremento en el contenido de EB. Existió una mayor oferta de energía que no se tradujo en una mayor utilización. Esto se puede confirmar con la ausencia de diferencia en la concentración de AGV, que coincide con la degradabilidad ruminal efectiva de la MS y la FDN que tampoco presentó cambios.

A pesar de no registrarse diferencias estadísticas, el tratamiento 15% SDDGS presentó valores mayores para la concentración de todos los AGV medidos y un tiempo mayor de pH menor a 6,0 respecto a los tratamientos con 0%, 30% y 45% de SDDGS, lo cual podría evidenciar una mayor fermentación ruminal en este tratamiento. Esta respuesta coincide con el rango de concentración de SDDGS para los cuales se registró los máximos valores de GMD y AOB.

3.3. DISCUSIÓN GENERAL

El crecimiento de los terneros presentó una respuesta cuadrática para niveles crecientes de SDDGS en la dieta, observándose que variables como la GMD, el PV y el AOB a la salida del corral registraron su máximo valor para un rango de inclusión entre 18% y 20,5%. Los valores de GMD registrados para esta categoría son muy buenos desde el punto de vista productivo, viabilizando el uso del SDDGS como alimento. Sin embargo, se registró una fuerte caída en la GMD con 45% de inclusión de SDDGS en la dieta, con un valor menor al testigo, a pesar de que el CMS no presentó variaciones. Esto determinó que el valor de EC ($P = 0,009$), principal determinante de la viabilidad económica de la tecnología, incrementara linealmente.

El consumo de EM estimado en el estudio de digestión se incrementó con una tendencia lineal, como respuesta a un incremento en la EB de la dieta, causado directamente por el agregado de SDDGS en la dieta. La mayor disponibilidad de EM podría explicar el incremento en GMD hasta niveles de inclusión de 20,5%. Sin embargo, la posterior caída de la GMD no se corresponde con el incremento lineal en EM consumida.

No se presentaron diferencias en la ED, lo cual coincide con la ausencia de cambios en la degradabilidad efectiva de la MS y la FDN. Frente a la ausencia de cambios en la digestibilidad de la energía, la caída en GMD con niveles superiores a 20,5% de SDDGS se podrían deber a una menor eficiencia en la utilización de la misma. La ENm y ENg presentaron una reducción lineal como respuesta al agregado de SDDGS, lo cual estaría evidenciando una reducción en la eficiencia de utilización de la EM consumida.

Una de las causas podría ser un posible cambio en la composición de la ganancia. El AOB como indicador de la deposición de tejido magro en el animal, también presentó una respuesta cuadrática, disminuyendo su valor con niveles de inclusión de SDDGS superiores a 18%. El EGD no presentó diferencias entre tratamientos. Niveles de inclusión de SDDGS superiores a 18% presentarían una menor relación músculo/ grasa, debido a una disminución en el AOB.

La respuesta cuadrática del AOB determina que el posible mayor contenido de PNDR, debido a una menor degradabilidad ruminal efectiva de la PC sin afectar su digestibilidad total, no se traduce en una mayor deposición de músculo. Esta respuesta coincide con el PV final, el cual decrece con niveles de inclusión de SDDGS superiores a 19%.

El contenido de aminoácidos esenciales para el crecimiento y engorde, como la lisina y metionina (NRC, 2001), que mejoran la ganancia de peso y la eficiencia de conversión del alimento varió con la inclusión de SDDGS de sorgo. El contenido de lisina de las dietas con 0%, 15%, 30% y 45% de inclusión de SDDGS fue de 0,99%, 0,82%, 0,64% y 0,45% de la MS, mientras que el contenido de metionina no presentó grandes diferencias, siendo igual a 0,31%, 0,39%, 0,32% y 0,32% de la MS (FEDNA, 2017).

La lisina pudo haber afectado el crecimiento de los terneros, debido a que la sustitución completa de la harina de soja en el tratamiento con 45% de SDDGS, provocó una reducción en el contenido de lisina de la dieta.

La relación y sincronía de los aportes de carbohidratos y proteína, también son importantes para el funcionamiento del pool de microorganismos en el rumen. Utilizando el modelo de simulación CTR Dairy (Ahmadi et al., 2018), se evaluaron las mismas cuatro RTM y se detectó un mayor desacople entre los aportes de carbohidratos y proteína a medida que se incrementaba el nivel de SDDGS en la dieta. Este posible mayor desacople se puede deber a una baja degradabilidad de la PC que afecte negativamente la flora amilolítica reduciendo la degradabilidad de los carbohidratos no estructurales, o a una disminución en la síntesis de proteína microbiana. En esta simulación, la máxima síntesis de proteína microbiana se observó entre 15% y 30% de inclusión de SDDGS (Ahmadi et al., 2018). Dentro de este rango se encuentran los valores de inclusión de DDGS evaluados que registraron la mayor GMD, AOB y PV final.

El software de predicción de la performance animal en ganado de carne UPIC Pro[®], se utilizó para estimar los aportes y requerimientos proteína metabolizable (PM) y de EM en las cuatro RTM evaluadas. Los requerimientos de PM se mantuvieron siempre por debajo de los aportes, a pesar que estos presentaron una tendencia a disminuir con el agregado de SDDGS en la dieta. A su vez, a medida que se incrementó el nivel de SDDGS en la dieta se redujo la síntesis de proteína microbiana. La proteína efectivamente degradable en rumen se identificó como la limitante para la síntesis de la proteína microbiana en todos los casos. Esta respuesta coincide con lo detectado en el modelo de simulación CTR Dairy, Sin embargo, la síntesis de proteína microbiana más la PNDR estimadas serían más que suficientes para cubrir los requerimientos de PM.

Los requerimientos de EM estimados en base a la performance real obtenida en el experimento 1 se ajustaron a los aportes de EM. La GMD potencial estimada por el UPIC Pro[®] para las dietas con 0%, 15%, 30% y 45% de SDDGS fueron de 1,89, 1,88, 1,64 y 1,44 kg/d, tomando el aporte de EM como factor limitante, en

comparación con la PM. Esta tendencia de reducción de la GMD a mayor nivel de inclusión de SDDGS coincide con la respuesta obtenida en el experimento 1.

Considerando todos los datos evaluados una de las causas de la reducción de la GMD cuando se supera el 20,5% de inclusión de SDDGS en la dieta podría ser la utilización de la EM, a pesar de que su consumo aumentó con el agregado de SDDGS. Los valores de energía fermentable en el rumen también tenderían a caer, desde el 30% de inclusión de SDDGS, según lo estimado por el UPIC Pro[®], con valores de 18,05, 18,8, 17,88 y 16,58 Mcal/día.

4. CONCLUSIONES

La inclusión de SDDGS en la dieta de terneros Hereford alimentados a corral durante su primer invierno de vida afecta la performance animal, en términos de crecimiento y desarrollo. Niveles crecientes de SDDGS, hasta 45% MS, reducen el valor alimenticio de la dieta y empeoran la eficiencia de conversión del alimento, determinando niveles óptimos de inclusión para maximizar la ganancia (kg/d) en torno al 20% de la MS de la dieta.

El coeficiente de regresión estimado para la eficiencia de conversión permitirá decidir el nivel de SDDGS que optimice la respuesta bio-económica, dentro de los rangos de inclusión evaluados.

La inclusión de SDDGS de sorgo en dietas de confinamiento hasta niveles de 45% de la MS, reduce la degradabilidad ruminal de la MS y la PC, sin afectar su digestibilidad aparente, lo cual sugiere un cambio en el sitio de digestión. Niveles crecientes de SDDGS en la dieta reducen la concentración de amonio en rumen, sin variaciones en la concentración de ácidos grasos volátiles ni en el pH, a pesar de aumentar el contenido de FDN y FDNfe en la dieta.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Abad MA. 2013. Biocombustibles. En: Anuario OPYPA (Oficina de Programación y Políticas Agropecuarias) 2013. Montevideo, Uruguay. MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca). 241-251 p.
- AFRC (Agricultural Food and Research Council). 1993. Energy and Protein Requirements of Ruminants. An Advisory Manual Prepared by the Agricultural Food and Research Council Technical Committee on Responses to Nutrients. Wallingford, UK: CAB International
- Ahmadi A, Robinson PH, Elizondo F, Chilibruste P. 2018. Implementation of CTR Dairy Model Using the Visual Basic for Application Language of Microsoft Excel. International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems. 9 (3): 74-86.
- Al-Suwaiegh S, Fanning KC, Grant RJ, Milton CT, Klopfenstein TJ. 2002. Utilization of distillers grains from the fermentation of sorghum or corn in diets for finishing beef and lactating dairy cattle. Journal Animal Science. 80: 1105-1111.
- AOAC International (Association of Official Agricultural Chemists). 2015. Official methods of analysis. Arlington, TX, USA. 18 th ed.
- AOAC International (Association of Official Agricultural Chemists). 2012. Official methods of analysis. Gaitherrbury, MD, USA. 20877-2417. 19 th ed.
- Arieli A, Bruckental I, Kedar O, Sklan D. 1995. In sacco disappearance of starch nitrogen and fat in processed grains. Animal Feed Science and Technology. 51: 287-295.
- Arnold G. 1981. Grazing behavior. En: Morley FF (ed). World Animal Science. B-1 Grazing animal. Amsterdam, Holanda. Elsevier Scientific Publishing Company. 79-104.
- Balocchi O, Pulido R, Fernández J. 2002. Comportamiento de vacas lecheras en pastoreo con y sin suplementación de concentrado. Agricultura Técnica. 62: 87-98.

- Benchaar CF, Hassanat R, Gervais PY, Chouinard C, Julien HV, Petit DI, Massé. 2013. Effects of increasing amounts of corn dried distillers' grains with solubles in dairy cow diets on methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance, and milk production. *Journal of Dairy Science* 96(40): 2413-2427.
- Berger L, Singh V. 2010. Changes and evolution of corn coproducts for beef cattle. *Journal of Animal Science*. 88 (13): 143-150.
- Bertrand JK, Green RD, Herring WO, Moser DW. 2001. Genetic evaluation for beef carcass traits. *Journal of Animal Science*. 79 (E. Suppl.): E190–E200
- Bruni M, Trujillo AI, Fachín L, Saragó L, Chilibroste P. 2014. Evaluación nutricional para rumiantes de la burlanda de sorgo húmeda obtenida de la producción de etanol de ALUR Paysandú. Cangüé. Paysandú, Uruguay. *Facultad de Agronomía, EEMAC*. 35: 28-38.
- Buckner CD, Mader TL, Erickson GE, Colgan SL, Mark DL, Bremer VR, Karges KK, Gibson ML. 2008. Evaluation of dry distillers grains plus soluble inclusion on performance and economics of finishing beef steers. *Professional Animal Science*. 24: 404–410.
- Consejo de la Facultad de Agronomía. 2016. Expediente N° 021130-002659-14. Resolución 1969. 28 noviembre 2016.
- Deppenbusch BE, Loe ER, Quinn MJ, Corrigan ME, Gibson VK, Karges K, Drouillard JS. 2008. Corn distillers grains with soluble derived from a traditional or partial fractionation process: Growth performance and carcass characteristics of finishing feedlot heifers. *Journal Animal Science*. 86: 2338–2343.
- DiLorenzo N, Galyean ML. 2010. Applying technology with newer feed ingredients in feedlot diets: do the old paradigms apply? *Journal of Animal Science*. 88 (13): 123-132.
- Elizalde JC, Riffel S. 2012. Un nuevo alimento para un nuevo engorde: el uso de subproducto de destilería. In: 14° Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne. *Facultad de Agronomía, EEMAC*. p. 55-65.

- Erickson GE, Bremer VR, Klopfenstein TJ, Stalker A, Rasby RJ. 2007. Utilization of Corn Co-Products in the Beef Industry: Feeding of Corn Milling Co-Products to Beef Cattle. Animal Science Department. 1-27.
- Fanning K, Milton T, Klopfenstein TJ, Klemesrud M. 1999. Corn and Sorghum Distillers Grains for Finishing Cattle. Nebraska Beef Cattle Reports. Lincoln, NE, USA. University of Nebraska-Lincoln Department of Animal Science. 32-33.
- FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal). 2017. Tablas FEDNA 2010-2017. [En línea]. Consultado 15 mayo 2018. Disponible en <http://www.fundacionfedna.org/tablas-fedna-composicion-alimentos-valor-nutritivo>.
- Friggens NC, Oldham JD, Dewhurst RJ, Horgan G. 1998. Proportions of volatile fatty acids in relation to the chemical composition of feeds based on grass silage. *Journal Dairy Science*. 81: 1331-1344.
- Ham GA, Stock RA, Klopfenstein TJ, Larson EM, Shain DH, Huffman RP. 1994. Wet corn distillers byproducts compared with dried corn distillers grains with soluble as a source of protein and energy for ruminants. *Journal of Animal Science*. 72: 3246-3257.
- Harris LE. 1970. Nutrition Research Techniques for Domestic and Wild Animals. Logan, UT, USA. Utah State University Department of Animal Science. 1:1901-1903
- Heinrichs J, Kononoff P. 2002. Evaluando el tamaño de partícula de forrajes y RTMs usando el Nuevo separador de partículas de forraje de Penn State. *Dairy of Animal Science*. 02-42. 15p.
- Jaworski NW, Lærke HN, Bach Knudsen KE, Stein HH. 2015. Carbohydrate composition and in vitro digestibility of dry matter and nonstarch polysaccharides in corn, sorghum, and wheat and coproducts from these grains. *Journal of Animal Science*. 93(3): 1103-1113.
- Kleinschmit DH, Anderson JL, Schingoethe DJ, Kalscheur KF, Hippen AR. 2007. Ruminant and intestinal degradability of distillers grains plus solubles varies by source. *Journal of Dairy Science*. 90(6): 2909-2918.

- Klopfenstein TJ, Erickson GE, Bremer VR. 2008. Board-invited review: Use of distillers by-products in the beef cattle feeding industry. *Journal of Animal Science*. 86: 1223-1231.
- Klopfenstein T, Grant R. 2001. Use of Corn Coproducts in Beef and Dairy Rations. En: Minnesota Nutrition Conference & Minnesota Corn Growers Association Technical Symposium (62^o, 2001, Bloomington, MN). Proceedings. University of Minnesota Extension Service. St Paul, MN, USA. p. 8.
- Krehbiel CR, Stock RA, Shain DH, Richards CJ, Ham GA, McCoy RA, Klopfenstein TJ, Britton RA, Huffman RP. 1995. Effect of level and type of fat on subacute acidosis in cattle fed dry-rolled corn finishing. *Journal of Animal Science*. 73: 2438-2446
- Leguizamón C, Weller CL, Schlegel VL, Carr TP. 2009. Plant sterol and policosanols characterization of hexane extracts from grain sorghum, corn and their DDGS. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 86(7): 707-716.
- Leibovich J, Vasconcelos JT, Galyean ML. 2009. Effects of corn processing method in diets containing sorghum wet distillers grain plus solubles on performance and carcass characteristics of finishing beef cattle and on in vitro fermentation of diets. *Journal of Animal Science*. 87: 2124-2132.
- Leupp JL, Lardy GP, Karges KK, Gibson ML, Caton JS. 2009. Effects of increasing level of corn distillers dried grains with solubles on intake, digestion, and ruminal fermentation in steers fed seventy percent concentrate diets. *Journal of Animal Science*. 87: 2906-2912.
- Liu K. 2011. Chemical composition of distillers grains, a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59(5): 1508-1526.
- Lodge SL, Stock RA, Klopfenstein TJ, Shain DH, Herold DW. 1997. Evaluation of corn and sorghum distillers byproducts. *Journal of Animal Science*. 75: 37-43.

- Luebke MK, Patterson JM, Jenkins KH, Buttrey EK, Davis TC, Clark BE, McCollum III FT, Cole NA, MacDonald JC. 2012. Wet distillers grains plus solubles concentration in steam-flaked-corn-based diets: Effects on feedlot cattle performance, carcass characteristics, nutrient digestibility, and ruminal fermentation characteristics. *Journal of Animal Science*. 90: 1589–1602.
- Machacek KJ, Kononoff PJ. 2009. The Relationship Between Acid Detergent Insoluble Nitrogen and Nitrogen Digestibility in Lactating Dairy Cattle. *The Professional Animal Scientist*. 25: 701–708.
- May ML, DeClerck JC, Quinn MJ, DiLorenzo N, Leibovich J, Smith DR, Hales KE, Galyean L. 2010. Corn or sorghum wet distillers grains with solubles in combination with steam-flaked corn: Feedlot cattle performance, carcass characteristics, and apparent total tract digestibility. *Journal of Animal Science*. 88: 2433–2443.
- Mehrez AZ, Ørskov ER, McDonald I. 1977. Rates of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. *British Journal of Nutrition*. 38: 437-443.
- Mertens DR. 2002. Measuring fiber and its effectiveness in ruminant diets. En: *Plains Nutrition Council Spring Conference (San Antonio, TX). Proceedings*. Texas A&M Research and Extension Center. Amarillo, TX, USA. 40-66.
- MIEM. (Ministerio de Industria, Energía y Minería). 2014. Balance energético nacional. Montevideo, Uruguay. 74p.
- Mieres J. 1996. ADIN y PCI que son, que miden y como se calculan. Hoja de divulgación N° 40. INIA. [En línea]. 15 Mayo 2018. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1444/1/111219240807152512.pdf>
- Montgomery, D.C. 2004. Bloques aleatorizados, cuadrados latinos y diseños relacionados. En: *Montgomery, D.C. 2004. Diseño y análisis de experimentos*. Balderas, México D.F.: Limusa Wiley. (2a. ed.) 144-150.

- Nelson ML, Marks DJ, Busboom JR, Cronrath JD, Falen L. 2004. Effects of supplemental fat on growth performance and quality of beef from steers fed bar-le-y-potato product finishing diets: I. Feedlot performance, carcass traits, appearance, water binding, retail storage, and palatability attributes. *Journal of Animal Science*. 82: 3600–3610.
- Nocek JE. 1997. Bovine acidosis: Implications on laminitis. *Journal of dairy science*. 80(5): 1005-1028
- Nolan J, Savage D. 2009. Digestible and metabolisable energy. En: *Applied Animal Nutrition, The Theory and Practice of Animal Nutrition, Module 1*. University of New England. Armidale, Australia. p.11.
- NRC (National Research Council). 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7a. Revised Edition. The National Academies. Washington DC. USA.
- NRC (National Research Council). 1996. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7a. Revised Edition. National Academy Press. Washington D.C. USA. p.242
- Ørskov ER, McDonald I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science*. 92: 499-503.
- Owens FN. 2008. Random ruminations and implications of feeding distiller's co-products. En: *The Plains Nutrition Council (San Antonio, TX)*. Texas AgriLife Research and Extension Center. Texas A&M System, Amarillo, TX, USA. p. 64.
- Plascencia A, Mendoza MGD, Vásquez PC, Zinn RA. 2003. Relationship between body weight and level of fat supplementation on fatty acid digestion in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 81: 2653–2659
- Poppi DP, Hendricksen RE, Minson, DJ. 1985. The relative resistance to escape of leaf and stem particles from the rumen of cattle and sheep. *The Journal of Agricultural Science*. 105: 9-14.
- R Core Team. 2017. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Consultado 11 junio 2018. Disponible en: <https://www.R-project.org/>.

- Rivera D, Parish J. 2010. Interpreting Forage and Feed Analysis Reports. Starkville, MS, USA. Extension Service of Mississippi State University. p. 8.
- SAS University edition. 2018. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Satter LD, Slyter LL. 1974. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro. *British Journal of Nutrition*. 32: 199-208.
- Simeone A, Beretta V, Franco J, Caorsi CJ, Pancini S, Martínez E, Zanetti F, Cortazzo N, Anzolabehere M. 2016. Nuevos datos para seguir aprendiendo a usar el DDGS de sorgo en dietas de corral. In: 18ª Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne: A pasto y a corral, dos caminos con un mismo destino: la rentabilidad. Facultad de Agronomía, EEMAC. p. 46-54.
- Simeone A, Beretta V, Acuña M, Loustau M, Suárez A. 2014. Subproductos de destilería de sorgo y respuesta animal. In: 16ª Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne: Propuestas tecnológicas en ganadería para un país ganadero, agrícola y forestal. Facultad de Agronomía, EEMAC. p. 48-55.
- Simeone A, Beretta V. 2013. Uso de la suplementación y el confinamiento como herramientas para enfrentar épocas de déficit forrajero en sistemas ganaderos pastoriles de América Latina. In: XXIII Reunión Latinoamericana de Producción Animal. Memorias... 18 al 22 de noviembre de 2013, La Habana, Cuba. PB-90, p. 1688-1659.
- Simeone A, Beretta V, Elizalde JC. 2008. Encierre de terneros o sistema ADT. In: 10ª Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne: una década de investigación para una ganadería más eficiente. Facultad de Agronomía, EEMAC. P. 38-41.
- UPIC Pro[®]. Predicción de la performance animal en ganado de carne. Beretta B, Simeone S. 2012. Facultad de Agronomía. Unidad de Producción Intensiva de Carne.
- Uruguay. Poder Legislativo. 2007. Ley N° 18195. Agrocombustibles [En línea]. Consultado 16 junio 2016. Disponible en:
<https://legislativo.parlamento.gub.uy/temporales/leytemp1776886.htm>

- Van Soest PV, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74(5):3583-3597.
- Vander Pol J, Luebke MK, Crawford GI, Erickson GE, Klopfenstein TJ. 2009. Performance and digestibility characteristics of finishing diets containing distillers grains, composites of corn processing coproducts, or supplemental corn oil. *Journal of Animal Science*. 87: 639-652.
- Vasconcelos JT, Galyean ML. 2008. Technical Note: Do dietary net energy values calculated from performance data offer increased sensitivity for detecting treatment differences?. *Journal Animal Science*. 86: 2756-2760
- Vasconcelos JT, Shaw LM, Lemon KA, Cole NA, Galyean ML. 2007. Effects of Graded Levels of Sorghum Wet Distiller's Grains and Degraded Intake Protein Supply on Performance and Carcass Characteristics of Feedlot Cattle Fed Steam-Flaked Corn-Based Diets. *The Professional Animal Scientist*. 23: 467-47.
- Wang D, Bean S, McLaren J, Seib P, Madl R, Tuinstra M, Shi Y, Lenz M, Wu X, Zhao R. 2008. Grain sorghum is a viable feedstock for ethanol production. *Journal of industrial microbiology & biotechnology*. 35(5): 313-320.
- Waller J, Klopfenstein T, Poos M. 1980. Distillers feeds as protein sources for growing ruminants. *Journal of Animal Science*. 51(5): 1154-1167.
- Weiss WP, Erickson DO, Erickson GM, Fisher GR. 1989. Barley distillers grains as a protein supplement for dairy cows. *Journal Dairy Science*. 72: 980-987
- Wood KM, Salima H, McEwenb PL, Mandell IB, Miller SP, Swansonc KC. 2011. The effect of corn or sorghum dried distillers grains plus solubles on growth performance and carcass characteristics of cross-bred beef steers. *Animal Feed Science and Technology*. 165: 23-30.
- Xu L, Jin Y, He ML, Li C, McAllister TA, Yang WZ. 2013. Effects of increasing levels of corn dried distillers grains with solubles and monensin on intake, digestion, and ruminal fermentation in beef heifers fed high-barley grain diets. *Journal Animal Science*. 91: 5390-5398.

- Zinn RA, Owens NF, Ware RA. 2002. Flaking corn: Processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 80: 1145–1156.
- Zinn RA. 1994. Effects of excessive supplemental fat on feedlot cattle growth performance and digestive function. *The Professional Animal Scientist*. 10: 66–72.
- Zinn RA. 1989. Influence of level and source of dietary fat on its comparative feeding value in finishing diets for steers: feedlot cattle growth and performance. *Journal Animal Science*. 67: 1029-1037.

6. ANEXOS

6.1. DEGRADABILIDAD RUMINAL DEL DDGS DE SORGO

Cuadro 1. Parámetros de degradabilidad *in situ* del DDGS de sorgo, evaluado en animales consumiendo dietas con diferentes niveles de inclusión de SDDGS.

| | Nivel de inclusión de SDDGS | | | | Error estándar | Significancia | |
|------------------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|----------------|---------------|------------|
| | 0% | 15% | 30% | 45% | | Lineal | Cuadrática |
| Materia seca (%) | | | | | | | |
| a ¹ | 28,59 | 29,76 | 29,03 | 27,63 | 1,63 | 0,64 | 0,46 |
| b ² | 36,17 | 38,27 | 36,83 | 37,09 | 2,11 | 0,89 | 0,68 |
| a+b ³ | 64,76 | 68,04 | 65,86 | 64,72 | 3,60 | 0,89 | 0,56 |
| c ⁴ (%/h) | 0,316 | 0,353 | 0,272 | 0,416 | 0,07 | 0,55 | 0,52 |
| Proteína cruda (%) | | | | | | | |
| a | 15,42 | 26,43 | 15,95 | 14,74 | 2,37 | 0,28 | 0,04 |
| b | 39,75 | 49,35 | 39,51 | 39,64 | 1,88 | 0,27 | 0,04 |
| a+b | 55,16 | 75,78 | 55,46 | 54,38 | 3,40 | 0,18 | 0,02 |
| c (%/h) | 0,453 | 0,138 | 0,340 | 0,601 | 0,07 | 0,10 | 0,01 |
| Fibra detergente neutro (%) | | | | | | | |
| a | 11,76 | 18,59 | 13,64 | 9,72 | 2,40 | 0,34 | 0,07 |
| b | 43,43 | 50,17 | 45,18 | 44,94 | 3,31 | 0,91 | 0,31 |
| a+b | 55,19 | 68,76 | 58,81 | 54,21 | 5,04 | 0,58 | 0,12 |
| c (%/h) | 0,274 | 0,147 | 0,230 | 0,399 | 0,06 | 0,17 | 0,07 |

¹Fracción soluble

²Fracción no soluble

³Fracción potencialmente degradable

⁴Tasa de degradabilidad

6.2. INCREASING LEVELS OF SORGHUM DRIED DISTILLERS' GRAINS PLUS SOLUBLES IN GROWING FEEDLOT DIET: EFFECT ON CALVES' GROWTH, NUTRIENTS DIGESTION AND RUMINAL FERMENTATION

Increasing levels of sorghum dried distillers' grains plus solubles in growing feedlot diet: effect on calves' growth, nutrients digestion and ruminal fermentation

Stefanía Pancini^{a*}, Álvaro Simeone^a, Oscar Bentancur^b, Virginia Beretta^a

^a Departamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía,
Universidad de la República, Paysandú, 60000, Uruguay

^b Departamento de Biometría, Estadística y Computación, Facultad de Agronomía,
Universidad de la República, Paysandú, 60000, Uruguay

***Corresponding author:** Stefania Pancini (stefipancini@gmail.com).

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the effect of concentrations of sorghum dried distillers' grains plus solubles (SDDGS) in growing feedlot diets on animal performance, ruminal fermentation and nutrients digestion. Two experiments were conducted evaluating four isonitrogenous total mixed rations (TMR) as dietary treatments, offered *ad-libitum*, with increasing levels of SDDGS 0%, 15%, 30%, and 45%, replacing a combination of sorghum grain and soybean meal. In Experiment 1, 32 Hereford castrated male calves (198.8 ± 14.6 kg) were randomly assigned to one of four dietary treatments and fed in individual pens over the course of 70 days. Average daily gain, final BW, and ribeye area exhibited a quadratic response ($P \leq 0.05$). Reaching maximum values with 18.2% to 20.5% of SDDGS concentration in the TMR. There were no differences in DM intake and backfat thickness ($P \geq 0.23$). Feed efficiency ($P = 0.013$) and dietary net energy ($P = 0.05$) decreased linearly with greater SDDGS concentration in the TMR. In Experiment 2, four ruminally cannulated steers (450 ± 63 kg) were assigned to the same dietary treatments as in Experiment 1 in a 4×4 Latin square design. Physically effective fiber (peNDF) and NDF content of the TMR increased linearly ($P < 0.0001$) with increasing levels of SDDGS. Greater concentrations of SDDGS in the TMR led to a linear increase in NDF and EE intake ($P < 0.001$) with no effect on DM and CP intake ($P \geq 0.17$). Metabolizable energy intake ($P = 0.09$) demonstrated a linear tendency of increase with greater SDDGS concentration. Apparent total tract digestibility (ATTD) of NDF increased linearly ($P = 0.038$), but ATTD of EE decreased quadratically ($P = 0.017$). There was no treatment effect on ATTD of DM and CP ($P \geq 0.28$), while ruminal degradability of DM and CP decreased linearly ($P \leq 0.01$). Ammonia concentration decreased linearly ($P < 0.0001$) with no changes in ruminal pH, acetate, propionate, and butyrate concentrations ($P \geq 0.14$), as concentrations of SDDGS increased. Therefore, increasing SDDGS concentration up to 45% of the diet affects calves' growth and feed conversion ratio, associated with a lower efficiency of metabolizable energy use. The decrease in ruminal DM and CP degradability with no changes in ATTD suggests a shift in the digestion site. There was no effect on

volatile fatty acids concentrations or ruminal pH, despite increasing content of NDF and peNDF in the TMR.

Key Words: beef cattle; feedlot; growth; digestion; sorghum; distillers' grains

1. Introduction

Ethanol biofuel production from corn, sorghum, wheat, or other grains generates two important by-products for animal feeding: distillers' grains and condensed distiller solubles. These by-products are obtained after starch hydrolysis, enzymatic and yeast alcohol fermentation, and distillation (Shurson and Noll, 2005). Thus, their starch content (3-8%) is significantly lower when compared with the grain of origin (69%) (Jaworski et al., 2015). Distillers' grains can be mixed with condensed distiller solubles to increase the content of protein, lipids, phosphorus, and sulfur (Erickson et al., 2007). The mixture of these two by-products is known as distillers' grains plus solubles and is commercialized either wet (**WDGS**) or dry (**DDGS**). Distillers' grains have a high nutritional value due to the high concentration of protein (Wang et al., 2008), as well as the energy derived from the concentration of lipids (Legizamón et al., 2009; Benchaar et al., 2013) and digestible fiber (Jaworski et al., 2015). They are also known, for their economic competitiveness compared to traditional feedstuff (Klopfenstein et al., 2008; Berger and Singh, 2010; DiLorenzo and Galyean, 2010). Given these characteristics, distillers' grains are commonly used as protein and energy sources in beef and dairy cattle rations (Liu et al., 2011).

Replacing starch from grain with digestible fiber from distillers' grains could help prevent ruminal pH drop and ruminal acidosis, since greater amounts of non-fiber carbohydrates in rations promote volatile fatty acids and lactic acid production (Nocek, 1997). This in turn decreases ruminal pH, fiber digestibility, and the acetate:propionate ratio, resulting in ruminal acidosis (Nocek, 1997). On the other hand, the substitution of a classic protein source, like soybean meal, with DDGS, which contains a greater concentration of rumen undegradable protein (Waller et al., 1980;

Ham et al. 1994; Kleinschmit, et al., 2007; Luebbe et al. 2012), can alter DM and CP ruminal degradability kinetics (Lee et al., 2016).

Corn DDGS is often used in beef cattle finishing diets and is known to improve the nutritional value of the diet compared to corn grain. Substitution of corn grain or dry-rolled corn with corn DDGS has led to an improvement in feed efficiency (Ham et al. 1994). Animal performance is optimized when 20% to 30% of corn DDGS is included in the ration (Buckner et al., 2008; Klopfenstein et al., 2008). The maximum concentration of corn DDGS recommended is 40% to 50% in order to avoid excess of protein, lipids and phosphorus intake (Klopfenstein et al., 2008; Klopfenstein and Grant, 2001).

Sorghum not only has the ability to tolerate drought conditions, resulting in high yield in areas with limited water, but also has a lower cost of production in comparison to corn. As a result, the use of sorghum in ethanol biofuel production has increased (Leguizamón et al., 2009). However, the quality of DDGS depends on the grain of origin (Stein and Shurson, 2009), and directly affects animal performance and feed efficiency (Wang et al., 2008). Starch content in sorghum DDGS is lower (2-3%) in comparison to corn DDGS (8%) (Jaworski et al., 2015). Similarly, lipid content is lower on sorghum DDGS. However, sorghum DDGS do have a greater fiber content (Stein and Shurson, 2009). These differences could explain the lower energy concentration in sorghum DDGS in comparison to corn DDGS (Al-Suwaiegh et al., 2002; May et al., 2010). Findings about the nutritional value of sorghum DDGS have been limited and inconclusive, with scarce findings about the use of sorghum DDGS on growing feedlot diets and as the replacements of sorghum grain and soybean meal as energy and protein sources in the ration.

This researcher's hypothesis is that replacing sorghum grain and soybean meal with sorghum DDGS (**SDDGS**) in a growing feedlot diet enhances diet nutritional value and feed efficiency. At the same time, the inclusion of SDDGS changes ruminal fermentation, promoting greater pH levels and improving overall nutrient utilization. This study aims to evaluate the effect of increasing levels of SDDGS in a diet on beef calves' growth and development during their first winter and identify associated changes in ruminal fermentation and nutrient digestion.

2. Materials and Methods

To achieve both of this paper's objectives, were designed two experiments. Experiment 1 aimed to assess the effect of increasing levels of SDDGS on beef calves' performance. Experiment 2 aimed to assess the effect of SDDGS concentration on digestion and ruminal fermentation. The SDDGS used in both experiments were processed and dried in the same commercial ethanol biofuel plant (ALUR, Paysandú, Uruguay) with 40% of condensed solubles incorporated, without sulfur. A single lot of commercial SDDGS was used for both studies. These experiments were conducted at the University of the Republic, Agronomy School - Experimental Station Mario E. Cassinoni, located in Paysandú, Uruguay. All animals were cared for and handled in accordance with acceptable practices and experimental protocols, reviewed and approved by the Animals Handling Ethics Commission (CEUA, University of the Republic, Uruguay).

2.1 Experiment 1

2.1.1 Animals, diets, and experimental procedures

Thirty-two Hereford castrated male calves (198.8±14.6 kg initial BW; 281±12 days old) were randomly assigned to one of four dietary treatments marked by increasing levels of SDDGS replacing a combination of sorghum grain and soybean meal in a total mixed ration (**TMR**) (Table 1). Treatments were formulated to contain 0% (**DG0**), 15% (**DG15**), 30% (**DG30**), and 45% (**DG45**) of SDDGS on a dry-matter basis and a similar nitrogen supply. Calves were assigned to individual semi-roofed pens, and each was provided with a feeder and a drinking trough. They were gradually introduced to experimental diets over the course of 14 days and then fed *ad libitum* for 70 days. Feed was offered in three equal meals, at 0700 h, 1200 h, and 1700 h. The amount of feed offered was adjusted daily to maintain 10% of refusals in the feeder and ensure *ad libitum* conditions. Access to a clean and fresh supply of water was continuous.

Table 1. Ingredients and chemical composition of total mixed rations with increasing concentration of sorghum dried distillers' grains plus solubles (SDDGS) fed in Experiment 1.

| Item | SDDGS concentration (%) | | | |
|----------------------------|-------------------------|------|------|------|
| | 0 | 15 | 30 | 45 |
| Ingredient, %DM | | | | |
| Wood chips ¹ | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 8.0 |
| SDDGS | 0.0 | 15.0 | 30.0 | 45.0 |
| Grinded sorghum grain | 63.2 | 56.2 | 49.5 | 43.1 |
| Soybean meal | 25.2 | 17.2 | 8.8 | 0.0 |
| Urea | 0.41 | 0.42 | 0.43 | 0.45 |
| Molasses | 1.42 | 1.44 | 1.48 | 1.55 |
| Zoodry feedlot | 0.16 | 0.17 | 0.17 | 0.18 |
| Calcium carbonate | 1.14 | 1.16 | 1.19 | 1.25 |
| Salt | 0.33 | 0.33 | 0.34 | 0.36 |
| Rumensin ² | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 |
| Yeast | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.09 |
| Chemical composition | | | | |
| Dry matter, % | 93.7 | 92.6 | 91.9 | 91.0 |
| Crude protein, % | 15.2 | 15.2 | 16.9 | 17.5 |
| ADIN ³ , %N | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 1.1 |
| Neutral detergent fiber, % | 25.5 | 32.6 | 34.5 | 39.1 |
| Acid detergent fiber, % | 13.9 | 17.3 | 17.0 | 19.6 |
| Ether extract, % | 3.1 | 3.4 | 4.1 | 4.7 |
| Ash, % | 1.5 | 1.1 | 1.3 | 2.7 |
| NFC ⁴ , % | 54.7 | 47.7 | 43.2 | 36 |

¹ Small pieces of wood, by-product of the pulp industry, used as a physical effective fiber source (Beretta et al., 2010). Chemical composition: 94.5 % DM, 0.13% CP, 95.7 % NDF, 79.8 % FDA, 1.19 % EE.

² Rumensin = 10% monensin.

³ ADIN = acid detergent insoluble nitrogen

⁴ NFC = Non-fibrous carbohydrates % = 100% - NDF % - CP % - EE % - Ash % (Mertens, 1997).

2.1.2 Measurements and samples collection

Calves were weighed without fasting at the beginning of the experiment and every 14 days during the experimental period. Hip height was measured at the beginning of the experiment and at the end of the experimental period. Ribeye area and backfat thickness were measured at the end of the experimental period by ultrasound between the 12th and 13th rib with a BioSoft Tool Box II (Biotronics Inc.; Ames, IA, USA). Refusals were weighed every day in the morning before feeding. Individual refusals and feed ingredients were sampled once a week for further chemical analysis. Samples were dried in a forced-air oven at 60°C over 48 h, ground in a hammer-mill (Willey Mill) in order to pass through a 2-mm screen, and finally, stored for posterior nutrient analysis.

2.1.3 Chemical analysis

Composite samples of feed ingredients and refusals for the experimental period and replication were analyzed in duplicate for DM (AOAC, 2012; method 934.01), ash (AOAC, 2012; method 942.05), CP (AOAC, 2012; method 984.13), EE (AOAC, 2012; method 920.39), ADIN (Van Soest, et al., 1991), NDF (aNDF_{mo}, assayed with a heat stable amylase and expressed exclusive of residual ash), and ADF (ADF_{mo}, expressed exclusive of residual ash). Content of NDF and ADF were determined sequentially (Van Soest, et al., 1991) with an Ankom Fiber Analyzer 200 (Ankom Technology Corp.; Fairport, NY, USA). The analysis was repeated when CV was greater than 5%.

2.1.4 Calculations

Dry matter intake (**DMI**) was calculated daily as the difference between feed offered and refusals on a DM basis. Nutrient intake was calculated based on the nutrient concentration in the TMR and the refusals on a DM basis. Average daily gain (**ADG**) was determined according to the slope of the BW regression line. Feed efficiency was calculated as the ratio between ADG (kg/d) and mean daily DMI (kg/d). Net energy for maintenance (**NE_m**) and net energy for BW gain (**NE_g**) for the

experimental diets were calculated based on growth performance and DMI, according to Zinn et al. (2002).

2.1.5 Statistical analysis

The data was analyzed in a completely randomized design, where each animal was the experimental unit (eight replications per treatment). The statistic model included treatment as a fixed effect and initial BW as a covariable. The model statement for BW and DMI also include the effect of the day of measurement and treatment by day interaction. Linear and quadratic orthogonal contrasts were tested according to the SDDGS concentration. All results were reported as least square means. Significance was set at $P \leq 0.05$, and tendencies were determined if $P > 0.05$ and ≤ 0.10 . Average daily gain and DMI were analyzed through the MIXED procedure of SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA), whereas feed efficiency data was analyzed using the GLM procedure of SAS (SAS Inst. Inc.). Ribeye area, backfat thickness, final BW and hip height were analyzed using an ANOVA type 3 (R Core Team, 2017).

2.2 Experiment 2

2.2.1 Animals and experimental procedures

Four ruminally cannulated Hereford steers (450 ± 63 kg average initial BW) with 4-inch silicone cannulas (Kehl[®] Ind. Ltda.; São Carlos, SP, Brazil) were used in a 4×4 Latin square design for evaluation of the same four dietary treatments as in Experiment 1. Steers were gradually introduced to the diet. The experimental period included four 19-day periods (14 days for adaptation to the new diet and 5 days for measurements). The steers were housed in individual roofed pens with feeders and drinking troughs with fresh water provided *ad libitum*. Diets were offered *ad libitum* once a day (0700 h). Refusals were measured daily for adjustments to feed amount in order to ensure at least 5% of refusals. Steers were weighed at the beginning of each period (day 1) without fasting, as a point of reference to adjust *ad libitum* feed offerings.

2.2.2 Ingestive behavior, dry matter intake, and digestibility

Ingestive behavior was recorded during the day (0700 h to 1900 h) on day 15. Every 15 minutes was recorded eating activity, water intake, rest, and rumination.

Feed ingredients and refusals were collected over a 3-day period (day 15 to 17) and dried in a forced-air oven (60°C, 48 h) in order to determine DM content. Dried samples were ground in a hammer-miller (Willey Mill) to pass through a 2-mm screen and composited within steer and period. Dry matter intake was calculated as the difference between feed offered and refusals. Total fecal output was measured over three consecutive days (day 16 to 18) through total feces collection. Fecal samples for each steer were frozen each day at -18°C until thawed for a composite sample per steer and period. Composite samples were dried in a forced-air oven at 60°C over 7 days to determine DM content and ground for further chemical analysis. Physically effective fiber (**peNDF**) content in feed ingredients and refusals were calculated for each treatment and period during days 15, 16, and 17. Physically effective fiber content was calculated as the product between NDF content and the physical effectiveness factor (**pef**). The **pef** (proportion of particles larger than 1.18 mm) was measured with the Penn State Particle Separator (Heinrichs and Kononoff, 2002). The apparent total tract digestibility (**ATTD**) coefficient was calculated for DM, CP, NDF, EE, and gross energy as $ATTD = \frac{[ingested - feces\ output]}{ingested}$. Diet digestible energy (**DE**) concentration was estimated as $DE = \text{gross energy content} \times \text{energy digestibility}$, and metabolizable energy (**ME**) was calculated as $ME = DE \times 0.81$, considering a 19% energy loss in urine and methane gas production (Nolan y Savage, 2009).

2.2.3 Ruminant degradability, pH and fermentation

Ruminal degradation of the concentrate fraction of the TMR (without wood chips) was measured *in situ* using fiber bags (40 µm pore size, 9 x 11 cm² of surface area). Each bag was filled with 15 mg of the sample DM/cm². Bags were incubated in the rumen in duplicate (two bags for each incubation period) on day 16 at 0700 h before feeding and were removed at 2, 4, 8, 16, 24, and 48 h after feeding. Once removed from the rumen, samples were immediately frozen at -18°C in order to stop the fermentation activity and then stored. Thawed samples were washed in a washing machine five times for three minutes, rinsed for five minutes in distilled water, and dried in a forced-air oven at 60°C over 48 h to determine DM content. Dried samples were ground in a hammer-milled (Micro Willy) to pass through a 1-mm screen and

preserved until chemical analysis. The zero-time bags were soaked for 15 minutes in distiller water at 39°C, simulating rumen temperature, then dried and ground following the same procedure as the incubated bags underwent. Ruminal degradability kinetics of DM, CP, and NDF were calculated according to Ørskov and McDonald (1979) exponential model. Effective ruminal degradability was estimated using the equation: $a + [(b \times c) / (c + kp)]$ (Ørskov y McDonald, 1979), where kp is the solid fraction passage rate. Passage rate was estimated according to AFRC (1993) based on ME intake (ME_i) and maintenance ME (ME_m), where $kp = -0.024 + 0.179 \times (1 - e^{-0.278L})$, and $L = ME_i / ME_m$. Retention time was calculated as the inverse of kp . Ruminal fluid samples were taken from the ventral portion of the rumen before feeding (0h) and at 3, 6, 9, 12, and 24 h post-feeding, during day 17. Each sample (100 mL) was filtered through two layers of cheesecloth, and pH was measured immediately with a portable pH-meter (pHTestrs 20, Oakton® Instruments; Vernon Hills, IL USA). One subsample of 20 mL was mixed with 1 mL of 1% phosphoric acid and conserved for further volatile fatty acids (VFA) concentration analysis. A second subsample of 40mL was mixed with 2 mL of pure sulfuric acid and conserved for further ammonia content analysis. All the samples were frozen at -18°C until analysis.

2.2.4 Chemical analyses

Composite samples of feed ingredients, refusals and feces for each period and treatment were analyzed in duplicate. The analysis was repeated when the CV was greater than 5%. Feed ingredients and refusals were analyzed for DM (AOAC, 2012; method 934.01), ash (AOAC, 2012; method 942.05), CP (AOAC, 2012; method 984.13), ADIN (Van Soest, et al., 1991), NDF (aNDF_{mo}; Van Soest, et al., 1991) and ADF (ADF_{mo}; Van Soest, et al., 1991), EE (AOAC, 2012; method 920.39), and gross energy (Harris, 1970). Content of NDF and ADF were determined sequentially in the same way as in Experiment 1. Feces were analyzed for DM, ash, CP, NDF, EE, and gross energy; and residues from the *in situ* fermentation study were analyzed for DM, CP, and NDF content.

Ruminal fluid samples were analyzed for ammonia concentration ($\mu\text{gN-NH}_4/\text{mL}$) (AOAC, 2015; method 984.13) and VFA (mM/L) concentration. For VFA,

fluid samples were purified with 0.5 mL of orthophosphoric acid (25% in sulfuric acid 0.5M) per 2 mL of sample and centrifuged at 5,000 g for 10 minutes (Friggens et al., 1998). Concentrations of acetate, propionate, butyrate, isobutyrate, valerate, and isovalerate were determined through gas chromatography (Konic 5000B, Konic® Instruments Inc.; Miami, FL, USA) with a capillary column (OPTIMA FFAPplus 30m and 0.32mm, Macherey-Nagel Inc.; Bethlehem, PA, USA).

2.2.5 Statistical analysis

Data were analyzed in a 4×4 Latin square design, with four animals and four periods, without replications, and under the assumption that there is no significant interaction between the period and treatments. The statistic model included treatments and periods as fixed effects and animals as the random effect. For variables measured over time, the fixed effect of the moment of measurement (day or hour) and the interaction moment by treatment were included in the model. Dry matter intake, ruminal pH, VFA, and ammonia concentration were analyzed through the MIXED procedure (SAS University Edition, SAS Inst. Inc., Cary, NC). Nutritional diet characterization, apparent total tract digestibility, and passage rate were analyzed with an ANOVA type 3 (R Core Team, 2017). Ruminal degradability was analyzed with a non-linear regression (R Core Team, 2017). Linear and quadratic orthogonal contrasts were tested according to SDDGS concentrations. Significance was claimed when $P \leq 0.05$, and tendencies were considered at $0.05 > P \leq 0.10$.

3. Results

3.1 Experiment 1:

The nutritional composition of utilized SDDGS was 89% DM, 27% CP, 2.1% ADIN (%N), 52% NDF, 21% ADF, 7% EE, 2.7% of ash, and 5.0 Mcal/ kg of gross energy. Increased SDDGS concentration in the TMR in replacement of sorghum grain and soybean meal, led to an increase in the concentrations of CP, ADIN, NDF, ADF, and EE (Table 1). The ADIN concentration represented 21.7%, 26.3%, 32.5%, and 40% of total nitrogen for DG0, DG15, DG30, and DG45, respectively. There was no evidence of feed sorting and selection against any ingredient of the

experimental TMRs, as no differences in chemical composition were observed between offered feed and refusals (data not displayed).

Dry matter intake, expressed as kg/d ($P = 0.23$) or as percentage of BW ($P = 0.23$), was not affected by SDDGS concentration (Table 2). Average daily gain exhibited a quadratic response ($P = 0.047$), reaching a maximum value of 20.5% of SDDGS, while feed efficiency was negatively affected demonstrating a linear decrease ($P = 0.013$) with greater concentration of SDDGS in the TMR (Table 2). For each 1% increase in SDDGS concentration, an extra 17g of feed was needed per kilogram of BW gain. The calves' growth was affected by dietary treatment (Table 2). Final BW responded quadratically ($P = 0.046$) to increasing concentration of SDDGS in the TMR, reaching a maximum final BW (232 kg) of 19% of SDDGS in the diet. The ribeye area also exhibited a quadratic response ($P = 0.04$), reaching maximum value (49.4 cm²) of 18.2% of SDDGS inclusion in the diet (Table 2). Backfat thickness ($P = 0.75$) and final rump height ($P = 0.49$) did not vary with increasing levels of SDDGS inclusion in the diet. Concentrations of NE_m and NE_g in the experimental TMR decreased linearly ($P = 0.05$) with increasing concentrations of SDDGS (Table 2).

3.2 Experiment 2

The TMRs ingredient composition was the same as in Experiment 1 (Table 1). The nutritional makeup of utilized SDDGS was 91% DM, 29% CP, 2.1% ADIN (%N), 50% NDF, 20% ADF, 9% EE, 8% ash, and 5.0 Mcal/ kg of gross energy. Increased concentrations of SDDGS led to linear increases in NDF, ADF, and EE contents ($P \leq 0.03$) in the TMR (Table 3). Although CP content was similar between treatments, greater SDDGS concentration in the TMR increased ADIN content, as was observed in Experiment 1, reaching a maximum of 40.1% of total nitrogen in DG45 treatment (Table 3).

Table 2. Effect of sorghum dried distillers' grains plus solubles (SDDGS) concentration in the total mixed ration on calves' performance and net energy value of the diet.

| Item | SDDGS concentration (%) | | | | SEM | Contrast <i>P</i> -value | |
|------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-----------|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | | Linear | Quadratic |
| Initial body weight, kg | 195.1 | 198.9 | 200.5 | 200.8 | 7.59 | 0.44 | 0.74 |
| Growth | | | | | | | |
| Final body | | | | | | | |
| weight ¹ , kg | 313.9 | 320.5 | 321.9 | 303.9 | 6.85 | 0.29 | 0.05 |
| ADG ² , kg/d | 1.65 | 1.84 | 1.79 | 1.51 | 0.04 | 0.22 | 0.005 |
| Final rump | | | | | | | |
| height, cm | 113.6 | 115.9 | 115.6 | 115 | 1.30 | 0.49 | 0.26 |
| Ribeye area ³ , | | | | | | | |
| cm ² | 46.65 | 49.91 | 47.78 | 44.15 | 1.57 | 0.18 | 0.04 |
| Backfat | | | | | | | |
| thickness, mm | 5.18 | 5.23 | 5.3 | 4.91 | 0.49 | 0.75 | 0.66 |
| Dry matter intake | | | | | | | |
| kg/d | 7.48 | 8.3 | 8.28 | 8.18 | 0.38 | 0.23 | 0.23 |
| %PV | 2.95 | 3.18 | 3.12 | 3.17 | 0.11 | 0.23 | 0.41 |
| Feed efficiency ⁴ | 0.221 | 0.216 | 0.219 | 0.189 | 0.008 | 0.01 | 0.13 |
| Diet energy value | | | | | | | |
| NEm ⁵ | 1.73 | 1.70 | 1.73 | 1.58 | 0.046 | 0.05 | 0.20 |
| NEg ⁶ | 1.11 | 1.08 | 1.11 | 0.98 | 0.040 | 0.05 | 0.20 |

¹ Final body weight = $-6.15x^2 + 27.89x + 291.45$; $R^2 = 0.95$.

² ADG = average daily gain = $-0.0005x^2 + 0.0205x + 1.6482$; $R^2 = 0.99$.

³ Ribeye area = $-0.0077x^2 + 0.2802x + 46.846$; $R^2 = 0.96$.

⁴ Feed efficiency = gain to feed ratio (ADG kg/d /DMI kg/d) = $0.0171x + 4.4103$; $R^2 = 0.69$

⁵ NEm = maintenance net energy.

⁶ NEg = gain weight net energy.

The concentration of SDDGS in the TMR did not affect pef values (0.60 ± 0.08 , $P = 0.34$), but peNDF supply increased linearly ($P < 0.0001$) with increasing levels of SDDGS ($y = 0.1885x + 14.075$, $R^2 = 0.97$) due to the observed increase in NDF content.

Table 3. Effect of sorghum dried distillers' grains plus solubles (SDDGS) concentration in the total mixed ration on chemical composition and energy supply fed in Experiment 2.

| Item | SDDGS concentration (%) | | | | SEM | Contrast <i>P</i> -value | |
|-------------------------|-------------------------|------|------|------|------|--------------------------|-----------|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | | Linear | Quadratic |
| Chemical composition | | | | | | | |
| Dry matter, % | 93.2 | 92.6 | 92 | 91.7 | 0.19 | 0.001 | 0.48 |
| Crude protein, % | 18.8 | 17.9 | 18.5 | 18.7 | 0.50 | 0.92 | 0.30 |
| ADIN ¹ , %N | 0.42 | 0.67 | 0.94 | 1.2 | 0.03 | <0.0001 | 0.76 |
| NDF ² , % | 22.3 | 30.2 | 34.6 | 37.7 | 0.76 | <0.0001 | 0.09 |
| ADF ³ , % | 13.3 | 15.1 | 16.5 | 17.6 | 1.06 | 0.03 | 0.96 |
| Ether extract, % | 2.3 | 3.2 | 4.2 | 5.3 | 0.25 | 0.0001 | 0.83 |
| Ash, % | 8.0 | 4.4 | 5.6 | 6.1 | 0.76 | 0.24 | 0.03 |
| Energy content, Mcal/kg | | | | | | | |
| Gross energy | 3.96 | 4.26 | 4.39 | 4.45 | 0.03 | <0.0001 | 0.01 |
| Digestible energy | 3.27 | 3.48 | 3.61 | 3.65 | 0.15 | 0.11 | 0.59 |
| Metabolizable energy | 2.65 | 2.82 | 2.92 | 2.96 | 0.12 | 0.11 | 0.59 |

¹ ADIN = acid detergent insoluble nitrogen.

² NDF = neutral detergent fiber

³ ADF = acid detergent fiber

Dry matter, OM, and digestible DM intake were not affected by SDDGS concentration (Table 4). However, ME intake tended to increase linearly due to an increase in the gross energy content of the diet (Table 3). Greater SDDGS

concentration in the TMR led to a linear increase in NDF and EE intake ($P < 0.0004$) (Table 4).

Table 4. Effect of sorghum dried distillers' grains plus solubles (SDDGS) concentration on nutrient intake, passage rate, retention time and total tract apparent digestibility.

| Item | SDDGS concentration (%) | | | | SEM | Contrast <i>P</i> -value | |
|---------------------------------------|-------------------------|------|------|------|------|--------------------------|-----------|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | | Linear | Quadratic |
| Intake | | | | | | | |
| Dry matter, kg/d | 11.3 | 13.2 | 13.5 | 12.7 | 0.87 | 0.27 | 0.17 |
| Digestible DM ¹ , kg | 9.5 | 10.9 | 11.4 | 10.8 | 0.85 | 0.30 | 0.29 |
| Crude protein, % | 20.5 | 18.5 | 18.5 | 18.9 | 1.32 | 0.46 | 0.39 |
| NDF ² , % | 20.3 | 27.9 | 33.3 | 36.4 | 0.78 | <0.0001 | 0.03 |
| Ether extract, % | 2.5 | 3.3 | 4.2 | 5.3 | 0.30 | 0.0004 | 0.62 |
| Ash, % | 7.4 | 4.0 | 5.6 | 6.1 | 0.88 | 0.55 | 0.07 |
| ME ³ , Mcal/d | 29.8 | 36.7 | 39.4 | 38.3 | 3.08 | 0.09 | 0.24 |
| Total tract apparent digestibility, % | | | | | | | |
| Dry matter | 84.1 | 84.1 | 84.5 | 84.1 | 2.58 | 0.82 | 0.87 |
| Crude protein | 88.2 | 84.4 | 84.8 | 83.7 | 2.51 | 0.28 | 0.61 |
| NDF ² | 63.2 | 72.1 | 77 | 79.6 | 4.56 | 0.04 | 0.51 |
| Ether extract | 84.9 | 71.9 | 77.2 | 79.7 | 2.36 | 0.37 | 0.02 |
| Ash | 65.0 | 61.8 | 80.1 | 75.4 | 8.54 | 0.24 | 0.94 |
| Gross energy | 82.6 | 81.7 | 82.3 | 82.1 | 3.41 | 0.96 | 0.93 |
| Passage rate, %/h | 6.74 | 8.25 | 8.88 | 8.49 | 0.69 | 0.11 | 0.22 |
| Retention time, h | 16.4 | 12.3 | 11.3 | 12.5 | 1.98 | 0.19 | 0.23 |

¹ Digestible DM = digestible dry matter.

² NDF = neutral detergent fiber.

³ ME = metabolizable energy.

Greater concentrations of SDDGS did not affect dry matter ATTD, but did lead to a linear increase in the ATTD of NDF ($P = 0.038$) (Table 4). Passage rate through reticulo-rumen did not present significant variation ($P = 0.24$) between treatments (Table 4), which is directly related to the absence of feed intake differences. The probability of finding an animal eating (0.28), ruminating (0.06), resting (0.63), or drinking water (0.02) did not differ among treatments ($P \geq 0.46$).

Greater concentrations of SDDGS in the TMR linearly reduced the potential ruminal degradability of DM ($P = 0.001$) and CP ($P = 0.01$) (Table 5). Nevertheless, effective ruminal degradability, corrected by passage rate, exhibited a different response for DM, a response that did not change among treatments (Table 5). Effective ruminal degradability of CP maintained a linear decrease ($P = 0.02$) among treatments as a response to SDDGS concentration in the TMR. There were no differences in potential ruminal degradability of NDF between treatments; however, the degradation rate exhibited a positive linear tendency ($P = 0.06$) with increasing concentrations of SDDGS in the TMR (Table 5). Effective degradability of NDF decreased 35%, on average, according to the potential NDF ruminal degradability in all SDDGS treatments.

Average ruminal pH was not affected by SDDGS concentration in the TMR (Table 6). There was no treatment per hour interaction ($P = 0.99$, Figure 1) for ruminal pH values. All treatments demonstrated a steep drop in pH values during the first 3 h after feeding, followed by a slow increase during the rest of the day, up to the same pH values recorded at 0 h ($P < 0.0001$) (Figure 1). The results demonstrated a ruminal pH recovery in a 24-h period, between one meal and the next.

Ruminal ammonia concentration decreased linearly ($P < 0.0001$) with increasing levels of SDDGS (Table 6). There was no difference in ammonia concentration between hours ($P = 0.48$) or treatment per hour interaction ($P = 0.32$). The concentration of volatile fatty acids and acetate: propionate ratio did not change with increasing levels of SDDGS inclusion (Table 6). There was no treatment per hour interaction ($P = 0.27$) for VFA concentration. There were differences in the concentrations of acetate, propionate, and butyrate between hours ($P \geq 0.004$).

Table 5. Effect of sorghum dried distillers' grains plus solubles (SDDGS) concentration in a high grain ration on in situ ruminal degradability of dry matter, crude protein and neutral detergent fiber.

| <i>In situ</i> degradability ¹ , % | SDDGS concentration (%) | | | | SEM | Contrast <i>P</i> -value | |
|---|-------------------------|-------|-------|-------|------|--------------------------|------------------|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | | Linear | Qua ² |
| Dry matter | | | | | | | |
| a ³ | 17.56 | 15.63 | 17.29 | 16.63 | 1.27 | 0.85 | 0.64 |
| b ³ | 57.72 | 60.09 | 50.61 | 49.23 | 1.52 | 0.002 | 0.26 |
| a+b ³ | 75.28 | 75.72 | 67.9 | 65.85 | 1.37 | 0.001 | 0.40 |
| c ⁴ (kg/h) | 0.3 | 0.34 | 0.47 | 0.46 | 0.07 | 0.097 | 0.74 |
| Effective DEG ⁵ | 62.1 | 63.2 | 59.4 | 58.3 | 2.29 | 0.19 | 0.65 |
| Crude protein | | | | | | | |
| a ³ | 28.63 | 10.17 | 21.12 | 24.13 | 3.22 | 0.87 | 0.02 |
| b ³ | 52.5 | 61.56 | 45.6 | 39.42 | 3.59 | 0.01 | 0.08 |
| a+b ³ | 81.12 | 71.73 | 66.72 | 63.55 | 3.59 | 0.01 | 0.42 |
| c ⁴ (kg/h) | 0.57 | 0.51 | 0.46 | 0.52 | 0.21 | 0.83 | 0.78 |
| Effective DEG ⁵ | 69.2 | 63.0 | 58.7 | 57.7 | 2.81 | 0.02 | 0.39 |
| Neutral detergent fiber | | | | | | | |
| a ³ | 18.39 | 18.41 | 18.90 | 13.17 | 5.11 | 0.53 | 0.59 |
| b ³ | 52.93 | 46.36 | 46.52 | 47.74 | 7.53 | 0.66 | 0.62 |
| a+b ³ | 71.32 | 64.77 | 65.42 | 60.91 | 8.36 | 0.44 | 0.91 |
| c ⁴ (kg/h) | 0.07 | 0.14 | 0.26 | 0.35 | 0.09 | 0.06 | 0.93 |
| Effective DEG ⁵ | 39.2 | 45.2 | 40.2 | 44.7 | 3.96 | 0.54 | 0.85 |

¹ *In situ* degradability = $a + b \times [1 - e^{-(c \times t)}]$ (Ørskov and McDonald, 1979).

² Qua: Quadratic

³ a = soluble fraction; b = non-soluble, slow degradable fraction; a+b = potential degradable fraction

⁴ c = degradation rate for “b” fraction.

⁵ Effective DEG = effective degradability = $a + [(b \times c) / (c + kp)]$ (Ørskov and McDonald, 1979), kp = solid fraction passage rate estimated for each treatment, g/kg

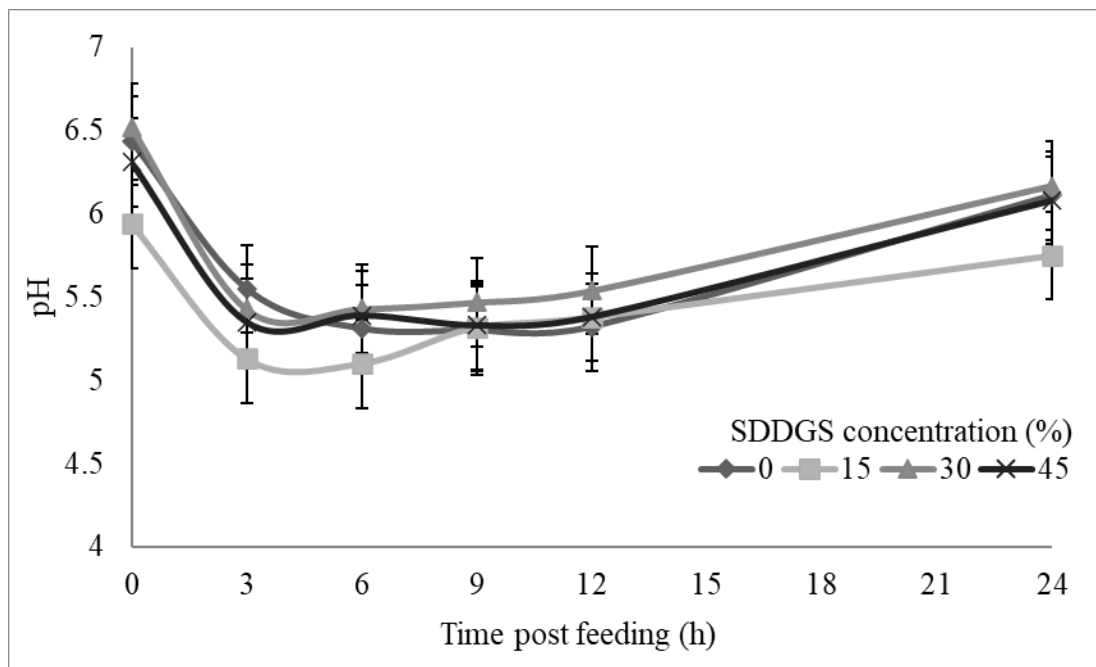
= 0.067, 0.083, 0.089, 0.085, for 0%, 15%, 30% and 45% SDDGS concentration respectively.

Table 6. Effect of sorghum dried distillers' grains plus solubles (SDDGS) concentration in the total mixed ration on ruminal pH, ammonia and volatile fatty acid concentrations.

| Item | SDDGS concentration (%) | | | | SEM | Contrast <i>P</i> -value | |
|-----------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-----------|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | | Linear | Quadratic |
| Ruminal pH | | | | | | | |
| Average pH | 5.67 | 5.43 | 5.76 | 5.64 | 0.17 | 0.78 | 0.75 |
| Minimum | 5.22 | 5.00 | 5.32 | 5.17 | 0.098 | 0.77 | 0.75 |
| Time ¹ , h | 9.00 | 6.00 | 6.75 | 9.00 | 1.77 | 0.93 | 0.19 |
| Drop rate, pH/h | 0.29 | 0.27 | 0.36 | 0.32 | 0.098 | 0.71 | 0.94 |
| pH < 6.0 h/d | 10.84 | 15.59 | 8.19 | 11.12 | 4.28 | 0.74 | 0.84 |
| Ammonia | | | | | | | |
| µgN-NH ₄ /mL | 380.9 | 296.5 | 199.5 | 211.6 | 25.32 | <0.0001 | 0.08 |
| Volatile fatty acids, mM/L | | | | | | | |
| Acetate (A) | 47.28 | 53.09 | 39.81 | 40.24 | 4.83 | 0.14 | 0.59 |
| Propionate (P) | 24.55 | 29.93 | 22.11 | 22.70 | 2.71 | 0.29 | 0.40 |
| Butyrate (B) | 4.77 | 6.26 | 5.03 | 4.81 | 0.60 | 0.68 | 0.17 |
| Isobutyrate | 1.20 | 1.84 | 1.00 | 1.44 | 0.17 | 0.86 | 0.54 |
| Valerate | 1.72 | 2.27 | 1.46 | 2.01 | 0.45 | 0.97 | 0.99 |
| Isovalerate | 0.77 | 0.64 | 0.52 | 0.65 | 0.15 | 0.54 | 0.38 |
| A+P+B | 76.60 | 89.28 | 66.95 | 67.75 | 7.80 | 0.20 | 0.47 |
| A:P ratio, mM/mM | 1.88 | 1.97 | 1.80 | 1.82 | 0.12 | 0.52 | 0.76 |

¹ Time of minimum pH registered post-feeding (07:00 h).

Figure 1. Effect of sorghum dried distillers' grains plus solubles (SDDGS) concentration in the total mixed ration on daily variation of ruminal pH (feeding time 07:00 h, represented by time = 0). There was no effect of hour ($P = 0.30$) or treatment by hour interaction ($P = 0.99$). Initial ruminal pH was statistically the same as ruminal pH measured 24hs later for all the SDDGS treatments (6.3 at 0 h vs 6.02 at 24 h; $P < 0.0001$).



4. Discussion

4.1 Diet characterization

Dietary treatments were formulated as isonitrogenous diets; nevertheless, greater levels of SDDGS increased CP content on the TMRs in Experiment 1. Additionally, ADIN content increased due to a greater concentration of SDDGS, probably due to an overheating during SDDGS drying process. This led to an increase in the proportion of protein bound to the fiber (Ham et al., 1994; Owens et al., 2008; Wood et al. 2011). In both experiments, ADIN values in the TMR increased with greater SDDGS concentration, representing up to 40% of total nitrogen in DG45, which could have affected CP digestibility (Machacek y Kononoff, 2009). However, in our work, the ATTD of CP was not affected by greater SDDGS concentration levels, suggesting that ADIN is not completely

indigestible. This is consistent with data obtained by Weiss et al. (1989), who reported that ADIN content does not affect distillers' grains' CP digestibility. Moreover, Ham et al. (1994) identified ADIN as an ineffective predictor of distillers' grain protein value when they evaluated increasing levels of ADIN content in the diet (5.9%, 13.9%, and 14.8% of DM).

Greater concentrations of SDDGS replacing a combination of ground sorghum grain and soybean meal changed the energetic source of the diet, increasing the proportion coming from the NDF and the EE contents derived from SDDGS (Klopfenstein et al., 2008; Stein and Shurson, 2009; Jaworski et al., 2015). This substitution also, possibly decreased the energy supply from non-structural carbohydrates. Given the increase in fiber content of the TMR with higher SDDGS, it is important to highlight the associated increase in the ATTD of NDF and ruminal degradation rate. Apparent total tract digestibility of NDF increased by 26% between DG0 and DG45.

The metabolizable energy of the TMR was estimated assuming 19% losses in gases and urine for the four treatments. However, as SDDGS increased in the diet, methane gas production could have reduced as a result of a greater concentration of EE and unsaturated fatty acid content (Diaz-Royón, 2012). According to previous authors, distiller grains are made up of a great concentration of unsaturated fatty acids, mainly oleic and linoleic acids that represent 25% and 50% of total fatty acid content, respectively. Unsaturated fatty acid biohydrogenation reduces the amount of hydrogen available to methane synthesis (Santacoloma, 2011). Thus, the ME content of the TMR with greater SDDGS concentration may have been underestimated in this study.

Physically effective fiber increased with greater SDDGS concentration in the TMR. This is mainly explained by the greater NDF content of SDDGS compared to sorghum and soybean meal in the rations. Observed peNDF values (DG0 = 13.5%, DG15 = 17.5%, DG30 = 20.1%, DG45 = 22.1% of DM) for the experimental TMRs were within the recommended range of 12% to 25% of DM for high concentrate diets (Mertens, 2002). Nevertheless, recommended peNDF levels for maximization ADG are between 12% and 18% of DM, reaching maximum ADG with 15% of DM

of peNDF (Mertens, 2002). Greater values of peNDF are recommended in order to minimize liver abscesses (22% of DM) or maximize DMI (25% of DM) (Mertens, 2002). Physically effective fiber over 18% DM in DG30 and DG45 could be associated with a decrease in ADG obtained after 20.5% of SDDGS concentration. Additionally, linear decrease in feed efficiency ($P = 0.013$) could be directly related with peNDF content in the four TMRs. In order to maximize the feed efficiency ratio, peNDF values should be closer to 12% DM (Mertens, 2002). Even though peNDF linearly increased ($P < 0.0001$) with a greater level of SDDGS inclusion, rumination activity during the day was quite low for all four treatments. An increase in rumination due to an increase in peNDF was expected, as these two characteristics are positively associated (Yang and Beauchemin, 2006; Adin et al., 2009). However, it is probable that this behavior responded to the absence of a long-fiber roughage source (Adin et al., 2009) and an increase in passage rate (Gentry et al., 2016). On the other hand, Arnold (1981) and Balocchi et al. (2002) have reported that 50% to 70% of rumination activity occurs during the night hours, which were not monitored for this research. Gentry et al. (2016) also previously inversely related peNDF effectivity and NDF digestibility, speculating that highly digestible fiber does not stimulate rumination as low-quality roughages do. The increase in NDF digestibility calculated in this study with greater SDDGS concentrations supports this speculation. Yang and Beauchemin (2006) previously determined a positive association of peNDF level and NDF digestibility, which is consistent with the results of this study.

4.2 Calf growth and nutrient digestion

The calves' growth exhibited a quadratic response to increasing concentrations of SDDGS in the diet. Average daily gain, final BW, and REA had a maximum value within 18.2% to 20.5% of SDDGS concentration in the TMR. These results align with studies conducted by Buckner et al. (2008) and Klopfenstein et al. (2008), who reported maximum ADG with 20% inclusion of corn DDGS and 30% inclusion of corn WDGS.

The lack of an effect of SDDGS on DMI was also previously reported by Vasconcelos et al. (2007), Leibovich et al. (2009), and Wood et al. (2011) who evaluated sorghum wet distillers' grains, and by Ham et al. (1994), and Vander Pol et

al. (2009) who analyzed corn wet distillers' grains. However, Fanning et al. (1999), Al-Suwaiegh et al. (2002), and May et al. (2010) reported a DMI linear increase in their evaluation of sorghum wet distillers' grains, which was explained by a compensatory response due to an energy concentration dilution in the diet. Metabolizable energy intake, estimated in the digestion study, tended to increase linearly with SDDGS concentration levels, mainly due to the greater gross energy content of SDDGS. Energy digestibility did not differ among treatments, which is consistent with the absence of variation in DM and NDF effective degradability. Greater ME availability could explain the increase in ADG up to 20.5% of SDDGS in the ration. However, NE_m and NE_g exhibited a linear decrease with increasing levels of SDDGS, which could explain the drop in ADG when SDDGS level represented more than 20.5% in the ration, and the linear decrease of feed efficiency. These results support the observations of Vasconcelos and Galyean (2008), who previously reported a positive correlation between diet NE and feed efficiency.

Feed efficiency, the most important economic index in feedlot systems, decreased linearly ($P = 0.013$) when sorghum distiller grain was incorporated in the TMR. This response was also reported by Vasconcelos et al. (2007), who previously used sorghum WDG in 5%, 10%, and 15% concentration levels, and Leibovich et al. (2009) and May et al. (2010), who used sorghum WDGS in 15% and 30% concentration levels. These authors attributed these responses in finishing steers to a dilution of TMR energy content (lesser NE_g concentration) associated with an increase in ADF concentration, which causes a decrease in ADG. In a prior study, Lodge et al. (1997) also determined that SDDGS present the least NE_g content compared to corn WDGS and corn DDGS due to lower lipids and starch contents.

Nelson et al. (2004) and Vander Pol et al. (2009) reported a decrease in NE_g due to excess lipid content in the diet that could have affected fiber digestibility. In this study, greater SDDGS concentrations in the TMR led to an increase in the content and intake of EE, without exceeding the maximum level of inclusion recommended for beef cattle of 6% to 8% DM-basis (Zinn 1989, Zinn 1994). In fact, fiber ATTD was even improved ($P = 0.038$) with greater SDDGS concentrations in the TMR. Krehbiel et al. (1995) have argued that EE intake above 4% DM-basis may

affect DM ruminal degradability due to a lower degradability rate and a greater passage rate. Moreover, Benchaar et al. (2013) and Lodge et al. (1997) reported an increase in the passage rate with the inclusion of distillers' grains in the diet due to a decrease in the particle size of the diet and a negative effect on total diet digestibility. In this study, particle size was not altered neither by SDDGS concentration levels in the TMR nor the ATTD of the diet. Passage rate was not statistically different between treatments. However, SDDGS inclusion in the TMR increased passage rate 27%, which means there was a reduction of four hours in the retention time of the digesta in the rumen. As a result, the degradability of ruminal nutrients was reduced by 14.5% for DM, 12% for CP, and 35% for NDF, affecting nutrient utilization. Limiting feed intake could be an effective way to reduce passage rate, improve ruminal degradability, and enhance the efficiency of nutrients utilization.

In their evaluation of SDDGS in a growing diet at 20% (DM-basis), Wood et al. (2011) also reported a decrease in feed efficiency due to a lower ADG and a decrease in protein quality and digestibility. Waller et al. (1980) described SDDGS as having a lower protein efficiency value compared to corn DDGS and soybean meal. These previous results suggest that SDDGS inclusion in the TMR would decrease DM and CP digestibility; however, no changes in DM or CP apparent total tract digestibility were detected in this study as SDDGS concentrations in the TMR increased.

Distillers' grains CP is known for its high content of rumen undegradable protein (**RUP**) (Waller et al., 1980; Ham et al. 1994; Kleinschmit, et al., 2007; Luebbe et al. 2012; Lee et al., 2016). Ham et al. (1994), Lodge et al. (1997), and Xu et al. (2013), reported a positive correlation between levels of ADIN in distiller grains and RUP content, without any effect on utilization efficiency in growing animals. Reported values of RUP for corn DDGS vary from 63% (Castillo-Lopez et al., 2013) to 72% (NRC, 2000), significantly above the reported values for soybean meal, with 35% (NRC, 2000) to 46% (Kleinschmit, et al., 2007) of RUP. The effective degradable CP for SDDGS used in Experiment 2 (data not shown) was $48.4\% \pm 3.3\%$; this means that estimated rumen undegradable protein was $51.6\% \pm 3.3\%$. Increasing the concentration of SDDGS in the TMR and replacing ground

sorghum grain and soybean meal led to a decrease in CP ruminal degradability due to a greater content of RUP, with no differences observed in ATTD of CP, shifting the site of digestion. Given these results, it is probable that intestinal digestion for RUP was high. Kleinschmit et al. (2007) previously estimated intestinal protein digestibility of RUP for five different sources of DDGS, ranging from 59% to 77%, and 87% for soybean meal. The same authors also measured intestinal absorbable dietary protein, ranging from 41% to 59% intestinal absorption for DDGS and 40% for soybean meal. This suggests that soybean meal replacement for SDDGS in the TMR should decrease RUP intestinal digestibility, but increase the proportion of absorbable dietary protein in the small intestine. Nevertheless, further investigation is required to determine the amount of endogenous losses generated in the small intestine to calculate true total tract digestibility.

The observed decrease in ADG when SDDGS was included above 20.5%, suggests a lower ME and protein utilization efficiency. This response was obtained with a positive linear trend of ME intake, as well as a linear decrease in NE_m , NE_g , and protein synthesis efficiency (ruminal degradable protein/digestible DM; $DG_0 = 96\%$, $DG_{15} = 85\%$, $DG_{30} = 79\%$, and $DG_{45} = 75\%$). This decline in energy and protein efficiency utilization could be associated with less lean tissue deposition. Bertrand et al. (2001) previously reported a high genetic correlation (> 0.7) between REA measured by ultrasound and total muscle deposition. After a level of 18% of SDDGS concentration in the TMR, ribeye area decreased, indicating a lower muscle deposition. Despite this decrease, due to greater RUP content in the TMR, the researchers expected more efficient utilization of the protein through intestinal digestion (Ham et al., 1994; Luebke et al., 2012). However, as previously discussed, Kleinschmit et al. (2007) reported a lower intestinal protein digestibility of RUP in DDGS compared to soybean meal. No variations were observed in backfat thickness, resulting in a lower muscle: fat ratio. Vasconcelos et al. (2007) and Wood et al. (2011) also previously reported no effect of sorghum WDG and sorghum WDGS on backfat thickness.

4.3 Ruminant fermentation and degradability

Increasing concentration of SDDGS in the TMR caused a decrease in CP ruminal degradability. This finding is consistent with the decrease in ammonia concentration that was also documented. Benchaar et al. (2013) previously reported a decrease in ruminal ammonia concentration with the inclusion of distillers' grains in the diet due to a decrease in CP ruminal degradability. Other possible reasons for ruminal ammonia concentration reduction include a decrease in ruminal fermentable energy content (NRC 2000, Satter and Slyter 1974) and DM degradability (Mehrez et al., 1977). Mehrez et al. (1977) previously reported 235 mg/L ammonia concentration as a minimum level to reach a maximum fermentation rate. However, Satter and Slyter (1974) reported a minimum level of 50 mg/L ammonia to reach maximum microbial protein synthesis. Based on these findings, the ammonia concentration value obtained in this study should not have limited microbial protein synthesis.

The energy supply in distiller grains comes mainly from highly digestible NDF and EE (Ham et al., 1994, Xu et al., 2013). The observed increase in NDF degradation rate measured in Experiment 2 evidences an improvement in fiber quality as SDDGS concentration in the TMR increases. The NDF effective ruminal degradation of the SDDGS used in this experiment was $44.6\% \pm 3.6\%$ (data not shown). Inclusion of SDDGS in the DG45 increased NDF degradability rate five times. Ham et al. (1994), Luebke et al. (2012), and Xu et al. (2013) previously reported greater NDF digestibility due to a rumen environment that was more propitious for fiber degradability as a consequence of the reduction in diet starch content. Nevertheless, ruminal pH was not affected by SDDGS concentration in the TMR and greater peNDF levels, which aligns with data reported by Vander Pol et al. (2009) and Benchaar et al. (2013). Moreover, Yang and Beauchemin (2006) have determined that an increase in peNDF has no or a minimal effect on pH and fermentation. Although ruminal pH values in Experiment 2 remained below 6.0, which could affect efficiency of microbial attachment to fiber substrate, rate of fiber digestion, and ruminal fiber degradability (Sung et al., 2006), these values did not affect fiber degradability nor degradation rate. Registered ruminal pH values at 3, 6,

9, and 12 h were below 5.6 in the four TMRs, indicating the possible presence of subacute acidosis (González et al., 2012). A reduction in DMI is one of the major responses of subacute acidosis (Stock and Britton, 1991). However, in this study no effect was observed on DMI. On the other hand, ruminal pH levels below 6.5 are expected to reduce methanogenic bacteria activity (Santacoloma, 2011) and methane gas production, thus decreasing energy losses.

In the present study, a greater gross energy supply (Mcal/kg DM) and ME intake (Mcal/d) was observed as SDDGS in the TMR increased. However, no improvement was observed in the efficiency of energy use. This result is consistent with the absence of differences in VFA concentrations among treatments, and the lack of variation in DM and NDF effective ruminal degradability. Previous research demonstrates that distillers' grains tend to reduce acetate concentration and increase propionate concentration due to higher EE intake that favors propionic synthesis (Leupp et al., 2009) and improves energetic efficiency (Xu et al., 2013). This effect was not observed when feeding the SDDGS in this study. Treatment DG15, however, did display greater VFA concentrations and a ruminal pH below 6 for a longer period of time compared to DG0, DG30, and DG45. Although not statistically different, this response could evidence greater ruminal fermentation within the range of SDDGS concentrations where ADG and REA achieved maximum values.

5. Conclusions

Replacing sorghum grain and soybean meal with SDDGS in up to 20% of TMR would improve the growth performance of Hereford calves that are lot-fed during their first winter of life without affecting backfat deposition. However, this improvement occurs at the expense of a reduction in feed efficiency.

In terms of nutrient utilization, the inclusion of SDDGS in up to 45% of the diet (DM-basis) reduces potential DM degradability, increasing the RUP and digestion rate of NDF. However, this does not affect the apparent total tract digestibility for DM and CP. Despite increasing NDF and peNDF, varying SDDGS concentrations did not modify VFA concentrations or ruminal pH values.

Unlike the proposed hypothesis, increasing concentrations of SDDGS up to 45% of DM-basis reduces the nutritional value of the diet, negatively affecting feed efficiency of growing cattle. This response appears to be associated with a lower efficiency of use of metabolizable energy. Reduction in starch contribution and a shift in the site of digestion could partially explain this result as well. Interaction with feeding level might modify this response. More research is necessary in this.

Acknowledgements

Financial support for this research was provided by the Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII) María Viñas fund program in Montevideo, Uruguay.

Declaration of interest

None.

Software and data repository resources

No software, data, or models were deposited in official repositories.

References

- Adin, G., Solomon, R., Nikbachat, M., Zenou, A., Yosef, E., Brosh, A., Shabtay, A., Mabweesh, S.J., Halachmi, I., Miron, J., 2009. Effect of feeding cows in early lactation with diets differing in roughage-neutral detergent fiber content on intake behavior, rumination, and milk production. *J. Dairy Sci.* 92(7), pp.3364-3373. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2078>
- AFRC. 1993. Agricultural Food and Research Council. Energy and Protein Requirements of Ruminants. An Advisory Manual Prepared by the Agricultural Food and Research Council Technical Committee on Responses to Nutrients. CAB International, Wallingford, UK.

- Al-Suwaiegh, S., Fanning, K.C., Grant, R.J., Milton, C.T., Klopfenstein, T.J., 2002. Utilization of distillers grains from the fermentation of sorghum or corn in diets for finishing beef and lactating dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 80(4), pp.1105-1111. <https://doi.org/10.2527/2002.8041105x>
- AOAC, 2012 In: Official methods of analysis 19 th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaitherrbury, MD, 20877-2417, USA.
- AOAC, 2015. In: Official methods of analysis 18 th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, TX, USA.
- Arnold, G.W., Morley, F.H.W., 1981. Grazing behaviour Grazing animals (No. 636.084 M864 c. 3). Elsevier. Amsterdam, Netherlands. pp. 79-104.
- Benchaar, C., Hassanat, F., Gervais, R., Chouinard, P.Y., Julien, C., Petit, H.V., Massé, D.I., 2013. Effects of increasing amounts of corn dried distillers grains with solubles in dairy cow diets on methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance, and milk production. *J. Dairy Sci.* 96(4), pp.2413-2427. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6037>
- Beretta, V., Simeone, A., Elizalde, J.C., Franco, J., Bentancur, O., Ferrés, A., Ayçaguer, S., Iriñiz, J., Martínez, V., 2010. Alternative fibre sources for steers and calves fed high-grain feedlot diets. *Anim. Prod. Sci.* 50(6), pp.410-413. <https://doi.org/10.1071/AN09173>
- Berger, L., Singh, V., 2010. Changes and evolution of corn coproducts for beef cattle. *J. Anim. Sci.* 88 (suppl_13), pp. E143-E150. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2526>
- Bertrand, J.K., Green, R.D., Herring, W.O., Moser, D.W., 2001. Genetic evaluation for beef carcass traits. *J. Anim. Sci.* 79 (suppl_E), pp. E190-E200. <https://doi.org/10.2527/jas2001.79E-SupplE190x>
- Buckner, C.D., Mader, T.L., Erickson, G.E., Colgan, S.L., Mark, D.R., Karges, K.K., Gibson, M.L., Bremer, V.R., 2008. Evaluation of dry distillers grains plus solubles inclusion on performance and economics of finishing beef steers. *Prof. Anim. Sci.* 24(5), pp.404-410. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30884-6](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30884-6)

- Castillo-Lopez, E., Klopfenstein, T.J., Fernando, S.C., Kononoff, P.J., 2013. In vivo determination of rumen undegradable protein of dried distillers grains with solubles and evaluation of duodenal microbial crude protein flow. *J. Anim. Sci.* 91(2), pp.924-934.
<https://doi.org/10.2527/jas.2012-5323>
- DiLorenzo, N., Galyean, M.L., 2010. Applying technology with newer feed ingredients in feedlot diets: Do the old paradigms apply?. *J. Anim. Sci.* 88(suppl_13), pp. E123-E132. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2362>
- Erickson, G.E., Bremer, V.R., Klopfenstein, T.J., Stalker, L.A., Rasby, R.J., 2007. Utilization of corn co-products in the beef industry: feeding of corn milling co-products to beef cattle.
<https://digitalcommons.unl.edu/animalscifacpub/507/>
- Fanning, K., Milton, T., Klopfenstein, T.J., Klemesrud, M., 1999. Corn and sorghum distillers grains for finishing cattle.
<https://digitalcommons.unl.edu/animalscinbcr/403/>
- Friggens, N.C., Oldham, J.D., Dewhurst, R.J., Horgan, G., 1998. Proportions of volatile fatty acids in relation to the chemical composition of feeds based on grass silage. *J. Dairy Sci.* 81(5), pp.1331-1344.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75696-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75696-6)
- Gentry, W.W., Weiss, C.P., Meredith, C.M., McCollum, F.T., Cole, N.A., Jennings, J.S., 2016. Effects of roughage inclusion and particle size on performance and rumination behavior of finishing beef steers. *J. Anim. Sci.* 94(11), pp.4759-4770. <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0734>
- González, L.A., Manteca, X., Calsamiglia, S., Schwartzkopf-Genswein, K.S., Ferret, A., 2012. Ruminal acidosis in feedlot cattle: Interplay between feed ingredients, rumen function and feeding behavior (a review). *Anim. Feed Sci.* 172(1-2), pp.66-79.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.009> [Get rights and content](#)

- Ham, G.A., Stock, R.A., Klopfenstein, T.J., Larson, E.M., Shain, D.H., Huffman, R.P., 1994. Wet corn distillers byproducts compared with dried corn distillers grains with solubles as a source of protein and energy for ruminants. *J. Anim. Sci.* 72(12), pp.3246-3257.
<https://doi.org/10.2527/1994.72123246x>
- Harris, L.E., 1970. Nutrition research techniques for domestic and wild animals.
<https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300551102>
- Heinrichs, J., Kononoff, P., 2002. Evaluating particle size of forages and TMRs using the new Penn State Forage Particle Separator. Pennsylvania State University, College of Agricultural Sciences, Cooperative Extension DAS, pp.02-42.
- Jaworski, N.W., Lærke, H.N., Bach Knudsen, K.E., Stein, H.H., 2015. Carbohydrate composition and in vitro digestibility of dry matter and nonstarch polysaccharides in corn, sorghum, and wheat and coproducts from these grains. *J. Anim. Sci.* 93(3), pp.1103-1113.
<https://doi.org/10.2527/jas.2014-8147>
- Kleinschmit, D.H., Anderson, J.L., Schingoethe, D.J., Kalscheur, K.F., Hippen, A.R., 2007. Ruminal and intestinal degradability of distillers grains plus solubles varies by source. *J. Dairy Sci.* 90(6), pp.2909-2918.
<https://doi.org/10.3168/jds.2006-613>
- Klopfenstein, T., Grant, R., 2001, September. Uses of corn coproducts in beef and dairy rations. In 62nd Minnesota Nutrition Conference & Minnesota Corn Growers Association Technical Symposium. p. 8.
http://www.biofuelscoproducts.umn.edu/sites/biodieselfeeds.cfans.umn.edu/files/cfans_asset_416589.pdf
- Klopfenstein, T.J., Erickson, G.E., Bremer, V.R., 2008. BOARD-INVITED REVIEW: Use of distillers by-products in the beef cattle feeding industry. *J. Anim. Sci.* 86(5), pp.1223-1231. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0550>

- Krehbiel, C.R., Stock, R.A., Shain, D.H., Richards, C.J., Ham, G.A., McCoy, R.A., Klopfenstein, T.J., Britton, R.A., Huffman, R.P., 1995. Effect of level and type of fat on subacute acidosis in cattle fed dry-rolled corn finishing diets. *J. Anim. Sci.* 73(8), pp.2438-2446. <https://doi.org/10.2527/1995.7382438x>
- Lee, Y.H., Ahmadi, F., Choi, D.Y., Kwak, W.S., 2016. In situ ruminal degradation characteristics of dry matter and crude protein from dried corn, high-protein corn, and wheat distillers grains. *J. Anim. Sci. Technol.* 58(1), p.33. <https://link.springer.com/article/10.1186/s40781-016-0115-3>
- Leguizamón, C., Weller, C.L., Schlegel, V.L., Carr, T.P., 2009. Plant sterol and policosanol characterization of hexane extracts from grain sorghum, corn and their DDGS. *J. Am. Oil Chem' Soc.* 86(7), pp.707-716. <https://doi.org/10.1007/s11746-009-1398-z>
- Leibovich, J., Vasconcelos, J.T., Galyean, M.L., 2009. Effects of corn processing method in diets containing sorghum wet distillers grain plus solubles on performance and carcass characteristics of finishing beef cattle and on in vitro fermentation of diets. *J. Anim. Sci.* 87(6), pp.2124-2132. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1695>
- Leupp, J.L., Lardy, G.P., Karges, K.K., Gibson, M.L., Caton, J.S., 2009. 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(9), pp.2906-2912. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1712>
- Liu, K., 2011. Chemical composition of distillers grains, a review. *J. Agric. Food Chem.* 59(5), pp.1508-1526. <https://doi.org/10.1021/jf103512z>
- Lodge, S.L., Stock, R.A., Klopfenstein, T.J., Shain, D.H., Herold, D.W., 1997. Evaluation of corn and sorghum distillers byproducts. *J. Anim. Sci.* 75(1), pp.37-43. <https://doi.org/10.2527/1997.75137x>

- Luebke, M.K., Patterson, J.M., Jenkins, K.H., Buttrey, E.K., Davis, T.C., Clark, B.E., McCollum III, F.T., Cole, N.A., MacDonald, J.C., 2012. Wet distillers grains plus solubles concentration in steam-flaked-corn-based diets: Effects on feedlot cattle performance, carcass characteristics, nutrient digestibility, and ruminal fermentation characteristics. *J. Anim. Sci.* 90(5), pp.1589-1602.
<https://doi.org/10.2527/jas.2011-4567>
- Machacek, K.J., Kononoff, P.J., 2009. The relationship between acid detergent insoluble nitrogen and nitrogen digestibility in lactating dairy cattle. *Prof. Anim. Sci.* 25(6), pp.701-708.
[https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30778-6](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30778-6)
- May, M.L., DeClerck, J.C., Quinn, M.J., DiLorenzo, N., Leibovich, J., Smith, D.R., Hales, K.E., Galyean, M.L., 2010. Corn or sorghum wet distillers grains with solubles in combination with steam-flaked corn: Feedlot cattle performance, carcass characteristics, and apparent total tract digestibility. *J. Anim. Sci.* 88(7), pp.2433-2443. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2487>
- Mehrez, A.Z., Ørskov, E.R., McDonald, I., 1977. Rates of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. *Br. J. Nutr.* pp.437-443.
<https://doi.org/10.1079/BJN19770108>
- Mertens, D.R., 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80(7), pp.1463-1481.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76075-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76075-2)
- Mertens, D.R., 2002, April. Measuring fiber and its effectiveness in ruminant diets. In *Proc. Plains Nutr. Cncl. Spring Conf.* San Antonio, TX (pp. 40-66).
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.727.5023&rep=rep1&type=pdf#page=47>
- Nelson, M.L., Marks, D.J., Busboom, J.R., Cronrath, J.D., Falen, L., 2004. Effects of supplemental fat on growth performance and quality of beef from steers fed bar-le-y-potato product finishing diets: I. Feedlot performance, carcass traits, appearance, water binding, retail storage, and palatability attributes. *J. Anim. Sci.* 82, pp. 3600–3610. <https://doi.org/10.2527/2004.82123600x>

- Nocek, J.E., 1997. Bovine acidosis: Implications on laminitis. *J. Dairy Sci.* 80(5), pp.1005-1028. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76026-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76026-0)
- Nolan, J., Savage, D. 2009. Digestible and metabolizable energy. *Applied Animal Nutrition. ANUT.* 300/500 - 2 - 4 © <https://www.woolwise.com/wp-content/uploads/2017/07/ANUT-300-500-08-T-02.pdf>
- NRC, 2000. In: *Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7th Revised Edition. Updated.* National Academy Press, Washington D.C., USA, p248.
- Ørskov, E.R., McDonald, I., 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci.* 92(2), pp.499-503.
<https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>
- Owens, F., Business, D., Johnston, I.A., 2008, April. Random ruminations and implications of feeding distiller's co-products. In *PLAINS NUTRITION COUNCIL SPRING CONFERENCE* (p. 64).
<https://amarillo.tamu.edu/files/2010/11/2008PNC-Proceedings1.pdf#page=64>
- Satter, L.D., Slyter, L.L., 1974. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro. *Br. J. Nutr.* 32(2), pp.199-208.
<https://doi.org/10.1079/BJN19740073>
- Shurson, J., Noll, S., 2005. Feed and alternative uses for DDGS (No. 804-2016-52518).
- Stein, H.H., Shurson, G.C., 2009. Board-invited review: The use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. *J. Anim. Sci.* 87(4), pp.1292-1303. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1290>
- Stock, R., Britton, R., 1991. G91-1047 Acidosis. Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln Extension, p.198.
<https://digitalcommons.unl.edu/extensionhist/198>
- Sung, H.G., Kobayashi, Y., Chang, J., Ha, A., Hwang, I.H., Ha, J.K., 2006. Low ruminal pH reduces dietary fiber digestion via reduced microbial attachment. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 20(2), pp.200-207.
<https://doi.org/10.5713/ajas.2007.200>

- Van Soest, P.V., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74(10), pp.3583-3597.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Vander Pol, K.J., Luebke, M.K., Crawford, G.I., Erickson, G.E., Klopfenstein, T.J., 2009. Performance and digestibility characteristics of finishing diets containing distillers grains, composites of corn processing coproducts, or supplemental corn oil. *J. Anim. Sci.* 87(2), pp.639-652.
<https://doi.org/10.2527/jas.2008-1036>
- Vasconcelos, J.T., Shaw, L.M., Lemon, K.A., Cole, N.A., Galyean, M.L., 2007. Effects of graded levels of sorghum wet distiller's grains and degraded intake protein supply on performance and carcass characteristics of feedlot cattle fed steam-flaked corn-based diets. *Prof. Anim. Sci.* 23(5), pp.467-475.
[https://doi.org/10.1532/S1080-7446\(15\)31007-X](https://doi.org/10.1532/S1080-7446(15)31007-X)
- Vasconcelos, J.T., Galyean, M.L., 2008. Do dietary net energy values calculated from performance data offer increased sensitivity for detecting treatment differences?. *J. Anim. Sci.* 86(10), pp.2756-2760.
<https://doi.org/10.2527/jas.2008-1057>
- Waller, J., Klopfenstein, T., Poos, M., 1980. Distillers feeds as protein sources for growing ruminants. *J. Anim. Sci.* 51(5), pp.1154-1167.
<https://doi.org/10.2527/jas1980.5151154x>
- Wang, D., Bean, S., McLaren, J., Seib, P., Madl, R., Tuinstra, M., Shi, Y., Lenz, M., Wu, X., Zhao, R., 2008. Grain sorghum is a viable feedstock for ethanol production. *J. Ind. Microbiol.* 35(5), pp.313-320.
<https://doi.org/10.1007/s10295-008-0313-1>
- Weiss, W.P., Erickson, D.O., Erickson, G.M., Fisher, G.R., 1989. Barley distillers grains as a protein supplement for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72(4), pp.980-987. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(89\)79192-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(89)79192-X)

- Wood, K.M., Salim, H., McEwen, P.L., Mandell, I.B., Miller, S.P., Swanson, K.C., 2011. The effect of corn or sorghum dried distillers grains plus solubles on growth performance and carcass characteristics of cross-bred beef steers. *Anim. Feed Sci.* 165(1-2), pp.23-30.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.02.011>
- Xu, L., Jin, Y., He, M.L., Li, C., McAllister, T.A., Yang, W.Z., 2013. Effects of increasing levels of corn dried distillers grains with solubles and monensin on intake, digestion, and ruminal fermentation in beef heifers fed high-barley grain diets. *J. Anim. Sci.* 91(11), pp.5390-5398.
<https://doi.org/10.2527/jas.2013-6456>
- Yang, W.Z., Beauchemin, K.A., 2006. Physically effective fiber: Method of determination and effects on chewing, ruminal acidosis, and digestion by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89(7), pp.2618-2633.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72339-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72339-6)
- Zinn, R.A., 1989. Influence of level and source of dietary fat on its comparative feeding value in finishing diets for steers: Feedlot cattle growth and performance. *J. Anim. Sci.* 67(4), pp.1029-1037.
<https://doi.org/10.2527/jas1989.6741029x>
- Zinn, R.A., Brazle, F.K., White, T.W., 1994. Effects of excessive supplemental fat on feedlot cattle growth performance and digestive function. *Prof. Anim. Sci.* 10(2), pp.66-72. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31938-0](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31938-0)
- Zinn, R.A., Owens, F.N., Ware, R.A., 2002. Flaking corn: processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 80(5), pp.1145-1156.
<https://doi.org/10.2527/2002.8051145x>