

Efecto de la inclusión de gluten feed húmedo sobre la producción *in situ* de gases ruminales

Recibido 11 de junio de 2019 //
Aceptado 12 de diciembre de 2020 //
Publicado online 03 de noviembre de 2021

Guzman, M.L.^{1,2}; Sager, R.^{1,2}

RESUMEN

La agroindustria genera una gran variedad de alimentos de alto valor nutricional para la ganadería; estos son cada más utilizados por varios beneficios, por ejemplo, no genera competencia con el consumidor humano, genera menores costos y reducción del impacto ambiental de los residuos. El fluten feed (GF) es uno de estos subproductos derivado de la molienda húmeda de maíz con propiedades nutricionales que cumplen con varios de los requerimientos básicos de alimentación bovina, aunque sus características organolépticas pueden limitar su consumo. El objetivo de este trabajo fue proveer mayor comprensión de las interacciones de diferentes inclusiones de GF con los microorganismos ruminales a través de mediciones *in situ* de gases de fermentación, y cómo este proceso puede ser modulado a través de parámetros químicos de la dieta. Las comparaciones realizadas entre la interacción de inclusión de GF y la concentración de gases entéricos fueron altamente significativa ($p < 0,0001$). La producción de CH_4 abarcó un rango del 14,9 al 23,7% del volumen (%Vol.), mostrando un comportamiento cuadrático. El mejor ajuste de regresión se obtuvo con la digestibilidad ($R^2=0,58$), mientras que la concentración de NH_3 mostró un bajo coeficiente de determinación con la digestibilidad ($R^2= 0,11$) y alta con la PB ($R^2=0,70$). Los resultados con un 85% de inclusión de GF mostraron una ganancia diaria de 12,93 gr/KgPV^{0,7}, no evidenciándose efectos negativos causados por sus altos niveles de sulfatos. El aprovechamiento de este subproducto se encuadra dentro de una estrategia de ganadería baja carbono al reducir los costos económicos de la dieta, aumentar la capacidad de producción y reducir los riesgos de contaminación ambiental.

Palabras clave: ganadería sostenible, gases ruminales, subproductos.

ABSTRACT

Agro-industry generates a wide variety of feed of high nutritional value for livestock, which are increasingly used according to several benefits, like lack of food competition with the human consumer, lower costs and reduced environmental impact of waste. Gluten feed is one these by-product derived from the wet milling of corn with nutritional properties that meet some of the basic bovine nutritional requirements, although its organoleptic characteristics may limit animal consumption. The objective of this work was to provide a better understanding the possible effects of different GF proportions in diets on ruminal microorganisms, evaluated through in situ measurements of fermentation gases, and how this last may be buffered through chemical parameters of the diet. The comparisons between the interaction of GF inclusion and the concentration of enteric gases were highly significant ($p < 0.0001$). Methane production covered a range from 14.9 to 23.7% of the volume (% Vol.), showing a quadratic behavior. The best regression fit was obtained with digestibility ($R^2 = 0.58$), while the concentration of NH_3 showed a low coefficient of

¹Universidad Nacional de San Luis (UNSL), Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias (FICA), Ruta 148 Ext. Norte, Villa Mercedes (S.L.). Correo electrónico: mlguzman@unsl.edu.ar; rlsager@unsl.edu.ar

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) San Luis, Rutas Nac. 7 y 8, (5730), Villa Mercedes (San Luis). Correo electrónico: sager.ricardo@inta.gov.ar, guzman.laura@inta.gov.ar

determination with digestibility ($R^2 = 0.11$) and high with CP ($R^2 = 0.70$). The results with 85% inclusion of GF showed a daily gain of 12.93 gr/KgPV^{0.75}, not showing negative effects caused by its high levels of sulfates. The use of this by-product may be part of a low carbon livestock strategy, by reducing the economic costs of the diet, increasing the production capacity and reducing the risks of environmental contamination.

Keywords: low carbon livestock, ruminal gases, by-products.

INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de zootecnia el impacto de la calidad de la dieta en el metabolismo del bovino es uno de los temas más estudiados y controvertidos. La estructura y la cantidad de carbohidratos (CHO) en los alimentos determinan en rumen la velocidad de pasaje, tipo de fermentación, crecimiento de la microbiota y en consecuencia, la producción de gases ruminales (Hall *et al.*, 1998). Entre ellos, el dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄), conocidos como gases de efecto invernadero (GEI), son eliminados mayormente por respiración. Otros, como el amoníaco (NH₃) y sulfuro de hidrógeno (H₂S), en exceso, pueden causar desordenes metabólicos afectando la salud animal (Choung y Chamberlain, 1995; Sarturi *et al.*, 2013). Los resultados de aplicación del Modelo de Evaluación Ambiental de la Ganadería Mundial (GLEAM 2.0) demuestran la importancia global de la producción ganadera en el contexto del cambio climático y de su mitigación (FAO, 2017). Las evaluaciones demostraron que las cadenas de producción ganadera emitieron globalmente un total de 8,1 gigatoneladas de CO₂-eq en 2010 (año de referencia de simulación), representando CH₄ el 50 por ciento del total y el óxido nitroso (N₂O) junto con el CO₂ porcentajes similares (24 y un 26 por ciento, respectivamente) (FAO, 2017). Existe amplia bibliografía que determina la tasa de emisión de metano entérico en función a las características físicas y químicas del alimento (Johnson y Johnson, 1995; Moss *et al.*, 1995; Mills *et al.*, 2003), y también relacionado con el nivel de consumo animal y calidad de la dieta (Hindrichsen *et al.*, 2006). Las pérdidas energéticas en la producción de metano por los rumiantes significan entre 2-12% de la energía bruta (EB), pero cuando el forraje es de baja calidad puede representar entre el 15 y el 18% (Montenegro y Abarca, 2000). Por ello, se considera a la intensificación con base en dietas de alta densidad energética como una forma de contribuir a la producción de carne de bajo carbono, aunque generándose la controversia por ser la base maíz, que compite directamente con el consumo humano (Garnett, 2009). En búsqueda de soluciones, surge la oportunidad de inclusión de subproductos industriales en la alimentación animal. La creciente expansión de la industria para la producción de etanol o jarabes de uso alimenticio humano origina indirectamente productos, que de acuerdo al modo industrial del procesado del maíz generan granos destilados (DG) o gluten feed (GF) (Rausche *et al.*, 2005). En el análisis del ciclo de vida de la producción de etanol (Klopfenstein *et al.*, 2008; Liska *et al.*, 2009), los subproductos generados podrían contribuir a la reducción de GEI, sin embargo, las investigaciones no han considerado suficientemente los créditos positivos de su uso en ganadería (Arora *et al.*, 2008). Al tratarse de residuos, la

reinserción a la cadena alimentaria simboliza un fuerte impacto positivo desde lo ambiental (Kristensen *et al.*, 2011). De los subproductos industriales debido al creciente auge de los agrocombustibles, el de mayor estudio como alternativa de alimento en ganadería son los granos de destilería con solubles (DGS) en dietas de terminación (Di Lorenzo *et al.*, 2010; Hales *et al.*, 2012), sin embargo no sucede lo mismo con GF de maíz. Este último es un subproducto de la molienda húmeda de maíz para la producción de jarabe y constituye un recurso nutritivo rico en proteína y energía para los bovinos. Según la bibliografía (FEDNA, 1999; NRC, 1996), el rango de proteína bruta (PB) es del 18 a 24%, del cual entre un 16 a 24% corresponde a proteína pasante (PP), sujeto a la temperatura de los diferentes pasos en el procedimiento industrial. El resto de la proteína se degrada en rumen (PDR), perdiendo totalmente su identidad, ya que es transformada en ácidos grasos volátiles (AGV), CO₂ y amoníaco (NH₃) (Camps y González, 2002). Este último es utilizado en su mayor parte para la formación de proteína bacteriana de alto valor biológico, la que a su vez será digerida por el rumiante (Nolan y Dobos 2005). A pesar del menor contenido de almidón del GF, la concentración de energía es de 3 Mcal/kg MS, y los niveles de fibra físicamente efectiva (fibra detergente neutro efectiva, FDNef) produce el estímulo de aproximadamente 27 minutos de masticación/kg MS (Camps y González, 2002). Además debido al proceso industrial, la fibra del grano queda muy poco lignificada, mejorando así el coeficiente de digestibilidad en el rumen y la mayor degradabilidad (Firkins *et al.*, 1985). Como contrapartida, en el proceso industrial aumenta la concentración de azufre (S), que se reduce a H₂S en rumen, y este exceso de gas sulfuro podría causar alteraciones neurológicas no infecciosas, una enfermedad conocida como polioencefalomalacia (PEM) (Uwituzze *et al.*, 2011; Sarturi *et al.*, 2013). Esta es una de las razones que cuestionan los niveles de inclusión de este subproducto en la dieta, y en consecuencia el objetivo del presente trabajo fue determinar los gases ruminales resultantes de raciones con diferentes niveles de GF, y de este modo contribuir al conocimiento para su uso en alimentación de rumiantes y así favorecer de una manera holística una producción de carne de bajo carbono para colaborar positivamente con la mitigación y adaptación al cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la Estación Experimental Agropecuaria San Luis del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Lat: 33° 39' 50" S, Long: 65° 24' 37" O), se condujo el ensayo siguiendo protocolos del Comité de Ética de animales de investigación de la Universidad Nacional de San Luis.

Animales

A diez (10) animales Aberdeen Angus de 14 meses de edad (280 ± 15 kg de peso vivo, PV) se le realizó una cirugía por debajo de la apófisis transversa de la primera vértebra lumbar izquierdo, introduciendo el cuerpo de la cánula de polipropileno pequeña (1 cm de diámetro). Los cuidados posoperatorios se limitaron a entrega de antibióticos y observación diaria del proceso de cicatrización. Quince días después, el animal estuvo en condiciones para iniciar el periodo de acostumbramiento de ración (fig. 1).

Equipos detectores de gases

Las mediciones de los gases de rumen se realizaron a través de una sonda con los equipos detectores de gases portátiles: Reike Keiki RX-415 y Eagle. Ambos son instrumentos portátiles que detectan combinaciones de gases realizando la medición en el propio instrumento, obteniéndose la concentración del gas a partir de la lectura reflejada en el display. Los monitores están constituidos por un sensor que, en contacto con el gas para medir, genera una señal eléctrica que es registrada en un dial y se transforma en unidades de concentración del gas presente en el ambiente. El Reike Keiki RX-415 determina concentraciones de O_2 , CO_2 , CH_4 y CO a través de la combinación de sensores infrarrojo (NDIR), galvánico y de células electroquímicas, con rangos de medición entre 0 y 100% LEL (límite inferior de explosividad), o de 0 a 100% volumen (vol.) para CH_4 ; de 0 a 25% vol. para O_2 ; de 0 a 1000 ppm para CO y de 0 a 20% vol. para CO_2 . Por su parte, Eagle 2 valora com-

puestos precursores de sustancias odoríferas, utiliza sensores fotoionizables (PID) para aplicaciones con alta sensibilidad e infrarrojos, identificando NH_3 con un rango de 0 a 75 ppm, H_2S hasta una concentración de 100 ppm, y compuestos orgánicos volátiles (COV) con un rango de 0 a 2000 ppm. Ambos equipos poseen bomba interna controlada permanentemente mediante un medidor de caudal el cual la detiene en caso de notar reducciones en el caudal de muestreo y cuentan con doble filtro hidrofóbico incrementando su protección contra el agua.

Ensayo

Se asignaron dos novillos microfistulados por corral, en cuatro corrales. Los tratamientos se conformaron con diferentes proporciones de GF (20, 50 y 85% MS) en combinación con otros ingredientes constituyendo cuatro raciones (tabla 1). Se designó una ración testigo (sin GF), con base en 100% pasto llorón (*Eragrostis cúrvula*). Se entregó el total del alimento por la mañana (8:00 a. m.). Transcurrido el periodo de adaptación a la dieta de 15 días, se comenzó con las mediciones de los gases ruminales: CH_4 , NH_3 y H_2S . Los animales, posterior a cinco horas (5 h) de la entrega de comida, fueron llevados a la manga y allí, de a uno, se le ensambló el equipo a través de una manguera que conecta a la sonda del lector de gases a la porción externa de la cánula para comenzar la medición. En el proceso el volumen de aire ingresa a la sonda por acción de la bomba de aspiración y, transcurridos 60 segundos, o hasta estabilización del lector del equipo, se retira la sonda y se leen los picos de concentración de cada gas en la pantalla del equipo. El procedimiento se repite en ambos equipos, con

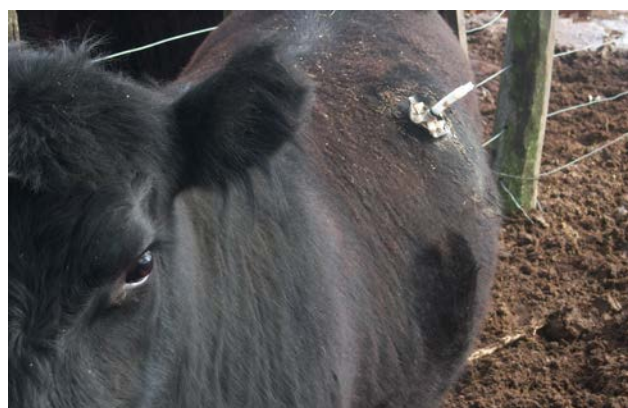


Figura 1. Animales con cánulas ruminales.

Ingredientes	T1	T2	T3	T4
	%MS			
Gluten Feed Húmedo (GF)	0,00	20,00	50,00	85,00
Pasto Llorón (<i>E. curvula</i>). (pll)	100,00			15,00
Maíz (<i>Zea Mays</i>) quebrado (Mz)		60,00		
Cáscara de maní (CM)		7,00	50,00	
Harina zootécnica (HZ)		9,00		
Núcleo vitamínico mineral (N)		4,00		

Tabla 1. Proporción de ingredientes en las raciones experimentales y composición química en MS. Elaboración propia.

la precaución de realizar la calibración interna de cada gas y borrado de memoria en cada pasada del animal por la manga.

Análisis estadístico

Se determinó la correlación entre las variables inclusión de GF y valor nutritivo de la ración. Se consideró como variable la respuesta de la producción de gases, el factor principal a las raciones. Para conocer la variabilidad conjunta de algún parámetro característico de la dieta y los gases entéricos, se determina el coeficiente de correlación y regresión. Se realizó la técnica de comparaciones múltiples para identificar las diferencias estadísticas entre las medias de raciones usando el test de Tukey (p<0,05). La información fue analizada con software estadístico (R Development core team, 2011).

RESULTADOS

En la tabla 2 se muestran los valores de consumo y ganancia de peso animal, observando una respuesta favorable con un 85% GF.

La correlación entre las raciones y parámetros químicos se muestra en tabla 3, esquematizándose las relaciones a través de un biplot (fig. 2), donde es posible interpretar simultáneamente en el plano la posición de los porcentajes de inclusión de GF, representada por los tratamientos (puntos) y los indicadores nutricionales (vectores). Se observa que el tratamiento con 50% GF es el que más cerca está de los parámetros de fibra y el de 0% de GF (solo pasto llorón) que representa raciones del tipo voluminoso. En el caso del tratamiento con 85% de GF, el parámetro más afín es la PB, coincidiendo con el tratamiento de mayor valor proteico. La ración con un 20% GF se ubica entre la MS y GPV, DMS, coincidiendo con los mayores valores de estos factores nutricionales del tratamiento en comparación con los otros.

Se exhiben en la tabla 3 los resultados de las concentraciones medias de los gases CH₄, NH₃ y SH₂, obtenidos *in vivo* cinco horas posteriores a la ingesta de alimento. Los efectos sobre la concentración de GF y calidad de la dieta fueron alta-

mente significativos (p<0,0001) mostrando correlación positiva con la DMS, PB, y negativa con las FDN.

Los datos de comparaciones múltiples basadas en la suma de rangos muestran diferencia significativa entre NH₃ y H₂S (p<0,004), y CH₄ y H₂S (p<0,0159). Al analizar en forma particular cada tipo de gas, se observa que la producción de CH₄ en todos los tratamientos abarcó un rango de concentraciones ruminales de 14,9 a 23,7 como porcentaje en volumen (%Vol.). El efecto que tuvieron los niveles de GF sobre la producción de CH₄ fue altamente significativo (p= 3,81e⁻⁰⁹). Las medias de Tukey para nivel de confianza 95% indican que solo entre tratamiento que contiene 100% pasto llorón (Blanco, T1) y el tratamiento con el 50% GF en la ración (T3) no hay diferencia significativa (fig. 3).

De acuerdo al Test de Pearson, existe una relación (p= 0,1128) entre CH₄ y la digestibilidad, cuyo grado de intensidad es negativa y alta (r = -0,89). El mejor ajuste de regresión a la nube de puntos por el método de mínimos cuadrados se obtuvo con la digestibilidad, indicando que la producción de CH₄ varía en relación directa con la digestibilidad (ec. 1). Cuando se consideró a la fibra (FDN) como predictor, la relación fue positiva (Test de Pearson p-valor = 0,3419) con una correlación del 66% (r = 0,6), pero el coeficiente de determinación fue bajo (R² = 0,43).

$$CH_4 (\%Vol.) = -17,52 * X + 159,02 \quad R^2 = 0,58$$

X = Digestibilidad de MS en porcentaje.

Ecuación 1

En el caso de NH₃, si bien existe relación directa con la digestibilidad de la ración (p= 0,6671), el coeficiente de determinación es bajo R²= 0,11. El factor de mayor peso resultó ser el porcentaje de PB, cuya relación es positiva con un R²= 0,70 (ec. 2). En la figura 4 se esquematizan las diferentes concentraciones de NH₃ en rumen en función de los tratamientos.

$$NH_3^{-2} (\%) = -0,14 * X + 0,33 \quad R^2 = 0,70$$

X = Digestibilidad de PB en porcentaje.

Ecuación 2

Valor nutritivo	T1	T2	T3	T4
	%MS			
GF	0,00	20,00	50,00	85,00
MS	60,00	84,90	50,00	42,00
FDN	72,00	31,10	60,60	46,00
FDA	32,50	8,30	33,00	8,00
PB	6,60	12,60	15,00	20,00
DMS	63,00	80,00	59,10	77,00
EM Mcal/Kg MS	2,36	3,20	2,34	3,02
Respuesta Animal	g/KgPV ^{0,75}			
CMS/PV ^{0,75}	94,97	89,80	97,89	115,83
GDPV/PV ^{0,75}	0,00	17,97	7,30	12,93

Tabla 2. Composición química (en base seca) de las raciones con diferentes proporciones de GF. MS: Materia Seca, FDN: Fibra Detergente Neutro, FDA: Fibra Detergente Ácida, PB: Proteína Bruta, DMS: Digestibilidad de la MS, CMS/PV^{0,75}: consumo MS por unidad de tamaño metabólico, GDPV/PV^{0,75}: ganancia diaria de peso vivo por unidad de tamaño metabólico. Elaboración propia.

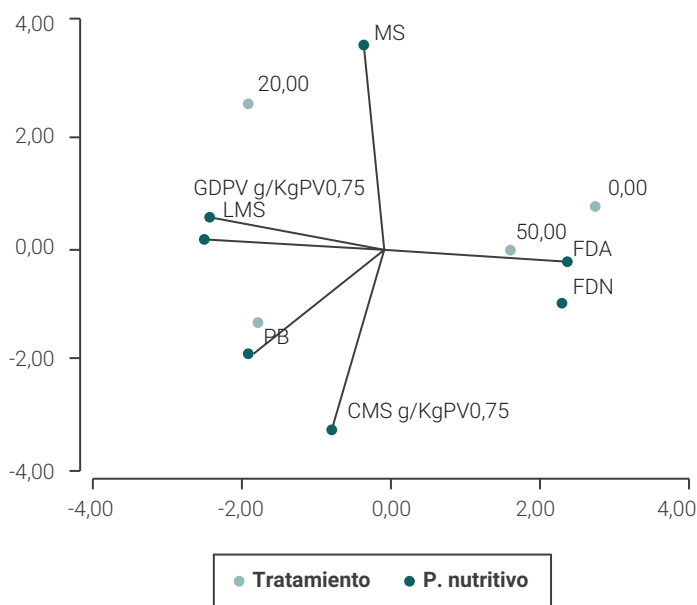


Figura 2. Relación entre la inclusión de GF en la ración y los parámetros nutritivos. Elaboración propia.

GF MS%	CH ₄ %	NH ₃ %	H ₂ S ppm	
T1	0,00	24,19 (2,10)	2,20 (1,10)	27,86 (2,50)
T2	20,00	15,88 (2,30)	2,27 (2,20)	82,5 (34,91)
T3	50,00	24,15 (3,20)	4,77 (0,50)	91,55(15,20)
T4	85,00	7,00 (0,50)	3,58 (1,10)	95,77 (17,00)

(,) Desvío

Tabla 3. Concentración media de los gases ruminales *in vivo*, cinco horas posalimentación. Elaboración propia.

Al analizar el H₂S, la mayor correlación y coeficiente de determinación (R²= 0,73) se obtuvo con un 80% de inclusión de GF. Todos los tratamientos difieren significativamente (p=3,17⁻¹¹) como se observa en la figura 5. El mejor ajuste se presenta con la ecuación 3.

$$H_2S \text{ (ppm)} = 87 * x + 288 \quad R^2 = 0,73$$

x =Porcentaje de GF.

Ecuación 3

DISCUSIÓN

La creciente demanda global por la carne y las exigencias de políticas por disminuir la contaminación ambiental induce la

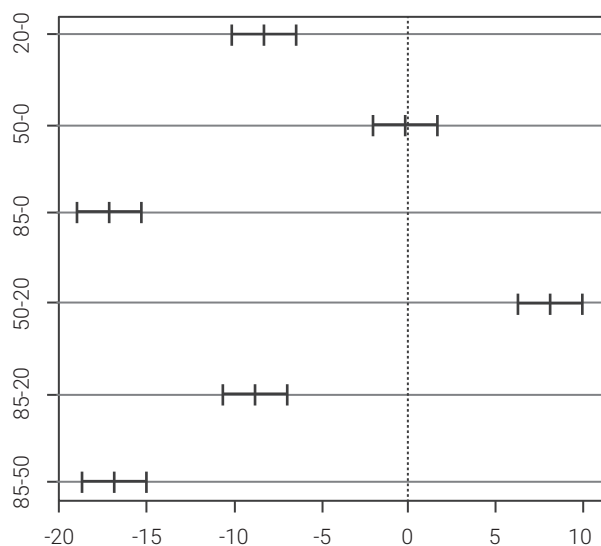


Figura 3. Análisis de las diferencias de CH₄ entre pares de tratamientos. Elaboración propia.

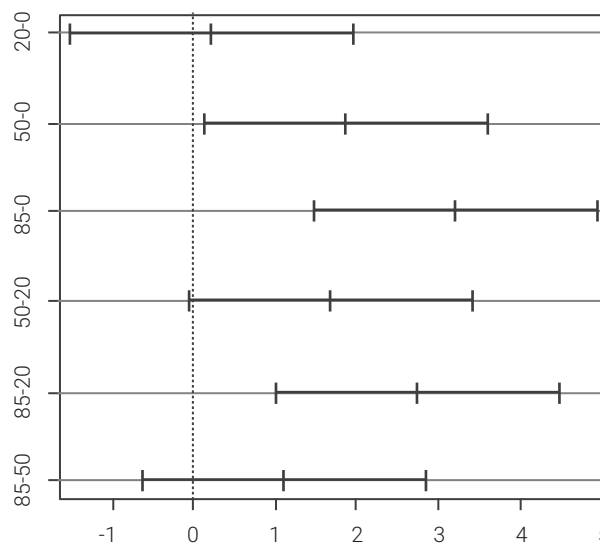


Figura 4. Análisis de las diferencias de NH₃ entre pares de tratamientos. Elaboración propia.

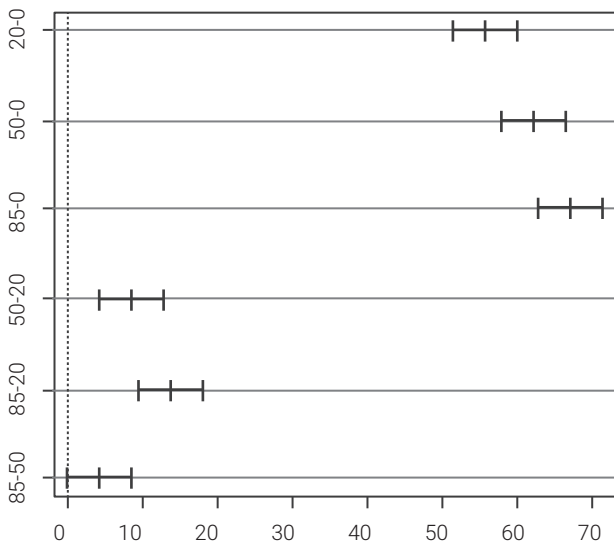


Figura 5. Análisis de las diferencias de H_2S entre pares de tratamientos.
Elaboración propia.

búsqueda de producciones sustentables considerándose un factor contribuyente para alcanzar este objetivo el uso de subproductos industriales como en este caso el GF de maíz utilizado en la ración de bovinos. La versatilidad de las dietas evaluadas en este trabajo abarcó un gran rango de interacciones químicas y biológicas en el rumen buscando divisar un rango amplio de situaciones posibles para poder advertir potenciales efectos negativos en la salud animal. En la tabla 1 se muestra esta dispersión en los parámetros químicos entre las raciones, comprendiendo valores de energía metabolizable de 2,34 hasta 3,20 Mcal. Kg MS^{-1} ; y de 6 a 20% de proteína bruta. En el análisis de correlación entre los tratamientos y las características nutricionales se observa que hay una relación directa y proporcional con la PB e indirecta con el contenido de fibra. Considerando las estructuras de covariación multivariantes (fig. 2) se pone de manifiesto las relaciones entre los parámetros químicos y las proporciones de GF con una alta correlación positiva entre la DMS y GDPV, que es similar a lo reportado por otros autores (Camps y González, 2002). El secado del GF insume energía aumentado los costos de la ración y las emisiones de CO_2 (Liska *et al.*, 2009). La bibliografía indica que el GF húmedo posee mayor digestibilidad que el seco (Firkins *et al.*, 1985; Ham *et al.*, 1995; Stock *et al.*; 2000) sin embargo es importante considerar que al estimar el costo de transporte por Mcal, el mismo aumenta por unidad energética disponible cuando se lo utiliza húmedo, y aún más dependiendo de la distancia y flete correspondiente. Con respecto a la sanidad animal, Krehbiel *et al.* (1995) aducen que el GF húmedo no eliminaría la incidencia de la acidosis ruminal, pero el daño provocado sería menor por diferentes razones: a) reducción de la cantidad de tiempo que el pH ruminal estaría por debajo de 6 y b) la disminución de los AGV totales y del propionato, que se traduce en el aumento de la relación acetato: propionato. En lo que refiere a la elección de los gases medidos *in vivo* en rumen, si bien solo CH_4 está dentro del grupo de GEI, la generación de NH_3 indirectamente afecta al medioambiente y en el caso de H_2S , afecta directamente la salud animal y por

ende respuesta productiva, que es otro factor clave en la sustentabilidad de sistemas. Las comparaciones realizadas entre la interacción de inclusión de GF y la concentración de gases entéricos fue altamente significativa ($p < 0,0001$). Los datos de comparaciones múltiples basadas en la suma de rangos muestran diferencia significativa entre los gases H_2S con NH_3 y CH_4 . Esto era previsible debido a la heterogeneidad en lo que se refiere a concentraciones ruminales, cuya composición media ruminal es de 65% de CO_2 , 27% de CH_4 , 7% de N_2 , 0,6% de O_2 , 0,2% de H_2 y 0,01% de H_2S (Denman, 2015; Yokohama y Johnson, 1988). Nuestro estudio se focalizó en conocer la tendencia de los gases en rumen, para poder determinar mejores estrategias de mitigación. Las arqueas metanógenas permiten mantener un nivel bajo de la presión de H_2 en rumen (Hino *et al.*, 1985) y facilitan la digestión de la fibra, que es indispensable para el funcionamiento normal del rumen, pero cuyas consecuencias adversas son menor eficiencia energética y mayor contaminación ambiental (Mitsumori *et al.*, 2008). Los resultados de estudios con granos de destilados solubles (DGS), muestran el alto impacto de la fibra digestible en la respuesta de CH_4 , similar a lo que ocurre con el GF, pero la fracción lipídica es diferente. Cuando se analiza el efecto de la concentración de grasa de DGS (entre un 9-12%), se observa que disminuye los H_2 en rumen por la hidrogenación de los AG y también la cantidad de materia orgánica fermentada es menor a causa de la cubierta física oleosa que envolvería otros constituyentes del alimento (Johnson y Johnson, 1995; Beachemin *et al.*, 2008). En un estudio basado en metaanálisis (Grainger y Beauchemin, 2011) del efecto dietario y la producción de CH_4 en rumiantes, se informó que en dietas con un contenido de más de 8% de grasa, el incremento de un 1% del contenido lipídico resultó en una disminución del 1g CH_4 /kg MS consumida. En consideración que el GF posee concentración lipídica del 3 o 4%, y que los demás componentes dietarios (tabla 1) no aportan en la proporción utilizada niveles de grasa que eleven la composición de la dieta por sobre el 8%, es lógico pensar que ese efecto no está presente en nuestro estudio. Por un lado, sí se ha observado que las raciones que tenían alto porcentaje de grano de maíz presentaron la mayor digestibilidad, condición que disminuiría la producción del CH_4 en coincidencia con varios trabajos (Gerber *et al.*, 2013; Hristov *et al.*, 2013; Johnson y Johnson, 1995; Martin *et al.*, 2010). Por otro lado, Moss *et al.* (1995) remarcan que la producción de CH_4 está principalmente relacionada con CMS, dependiendo del contenido de fibra y calidad de la dieta, concordando con nuestro análisis de correlación, donde la FDN es el segundo componente que afecta la emisión de CH_4 , de manera directa. El mayor consumo de MS se corresponde con una alta velocidad de pasaje ruminal y menor degradabilidad, lo que resulta en una menor producción de metano (Pinares-Patiño *et al.*, 2003), pero a su vez podría inducir a una vivaz actividad microbiana aumentando la producción de AGV, cuyo efecto es la acidez del fluido ruminal afectando protozoos y bacterias celulíticas, ambos contribuyentes a las metanógenas (Martin *et al.*, 2010). Sin embargo, por un lado, el GF se caracteriza por tener fibra de alta digestibilidad lo que podría aumentar la población de bacterias celulíticas, de este modo disminuir el efecto de acidosis, razón por la cual se considera necesario continuar con las evaluaciones *in vivo* en diferentes contextos nutricionales. Al examinar el NH_3 , aunque no es un GEI, tiene implicaciones medioambientales significativas (Hristov *et al.*, 2011), mostrando Gutierrez *et al.*, (2018) en estudios *in vitro* una asociación inversa entre la concentración de PB y las emisiones de CH_4 . Por otro lado, otros estudios han

demostrado una importante reducción de la emisión de NH_3 emitido por el estiércol de ganado y en suelos de corrales en feedlot (Buitrago *et al.*, 2018) con la disminución de PB en las raciones. Kebreab *et al.*, (2010) encontraron una relación lineal entre N_2 consumido y el excretado por orina, heces y leche; el valor de heces es muy estable representando el 28% de N consumido, no así en orina, que corresponde al balance entre el N_2 consumido, absorbido y no utilizado por el animal. Weiss *et al.*, (2009) aducen que la variación del N de orina es tres veces mayor que en heces. Esto indicaría que el N en heces no ofrece oportunidad de manipulación. Nuestros resultados indican que la mayor proporción de GF en dieta induce mayor porcentaje de PB de la ración y mayor producción de NH_3 en rumen, no observándose significancia estadística de NH_3 entre los tratamientos 85 y 50, y entre 0 y 20; en el primer grupo corresponde a la de mayor producción de NH_3 . Cabe aclarar que el tratamiento de 85% GF no fue el del mayor concentración de amoníaco, esto podría deberse al efecto de alta digestibilidad de la fibra del GF, lo que genera mayor actividad, utilizando el N libre en rumen para la síntesis de proteína microbiana. Según Pond *et al.*, (2005), el nivel óptimo de NH_3 en el rumen dependerá de la cantidad de energía disponible y Abdulla *et al.* (1992) afirman que las diferencias en la concentración de NH_3 en el rumen están asociadas con diferencias en los procesos dinámicos y microbianos con respecto a la tasa de reciclaje de urea en el rumen. En relación con los parámetros de calidad, existe relación con la digestibilidad ($p=0,6671$) pero con un bajo coeficiente de determinación ($R^2=0,11$), no así con la PB cuya relación es positiva, con un $R^2=0,70$. La concentración promedio de NH_3 ruminal reportada en la literatura fluctúa desde 2 y 50 mg cada 100 ml de líquido ruminal (NRC, 1996). En nuestro trabajo los valores oscilaron entre 20 a 84 mg de NH_3 cada 100 ml, lo que induciría a considerar un incremento de excreción de N al no presentarse cuadros de metahemoglobinemia (Van Zijderveld *et al.*, 2010), o a la rápida metabolización del nitrato, compitiendo los MO reductores con MO metanógenos por equivalentes de electrones, posicionándose como alternativa mitigante (Hristov *et al.*, 2012). En relación con H_2S , el valor máximo tolerable de azufre en la ración es del 0,4% (NRC, 1996). La tolerancia de rumiantes para la dieta azufradas varía inversamente con la proporción de concentrado en la dieta, con valores de 0,35% en dietas menores a un 15% de forrajes y aumentando a 0,5% en dietas con niveles mayores al 40% de forraje (Jubb *et al.*, 2015). El GF presenta alta concentración de azufre (0,3%), derivado del ácido sulfúrico (H_2SO_4) usado en la hidrólisis húmeda a que es sometido el maíz para la obtención de fructosa. Existe correlación directa entre los niveles de H_2S ruminal y el azufre contenido en la dieta, encontrando en nuestro trabajo valores mayores a 100 ppm (límite superior del medidor portátil de gas). Adicionalmente, se determinó a un grupo de animales (sin repeticiones) la concentración de H_2S mediante tubos detectores con una sensibilidad de 100 a 2000 ppm, permitiendo corroborar valores mayores (hasta 1000 ppm) a los límites de detección del equipo Eagle (valores no reportados). Sin embargo, no se presentaron caso de poliencéfalomalacia (PEM), enfermedad que se corresponde con trastornos del sistema nervioso causada entre otros factores por la presencia de altas concentraciones de sulfuro de hidrógeno ruminal como ha surgido en otros estudios (Drewnoski *et al.*, 2012; Gould, 1998). Esta situación podría deberse a que la alta concentración de NH_3 del GF, que no permite que baje demasiado el pH en rumen, y el pKa del ácido (7,04) determina que una mayor

cantidad de H_2S continúe en solución y no gasifique (Loneragan *et al.*, 2005). Por lo tanto, a pesar de que estos resultados son alentadores para el uso del GF en la dieta de bovinos, se considera conveniente continuar su evaluación dada la potencial variabilidad de la composición nutricional y el contenido de S, considerando otros factores externos, además de los componentes de la ración, como los sulfatos en el agua de bebida, con el fin de permitir su validación en un mayor rango de condiciones productivas.

CONCLUSIÓN

Las actividades del hombre en su conjunto generan impactos sistémicos ambientales considerables que requieren la definición de nuevos paradigmas de producción animal y de generación de conocimiento para tal fin. La sustitución de una proporción de granos por subproductos en la dieta animal, resulta en eficiencias energéticas que impactan en la emisión de GEI. Los resultados obtenidos de este estudio en rumen a partir del gluten feed húmedo, mostraron en las proporciones y para las dietas aquí evaluadas, parece factible su uso para la utilización de recría y engorde a corral sin deprimir la respuesta animal. El aporte de fibra y el alto valor proteico del GF son los parámetros nutricionales de mayor beneficio para la productividad de carne, no evidenciando factores negativos del GF por sus altos niveles de sulfatos. Sin embargo, se considera necesario realizar un análisis holístico como el ciclo de vida del producto para evaluar la eficiencia integral para el sistema productivo.

BIBLIOGRAFÍA

- ABDULLA, N.; NOLAN, J.V.; MAHYUDDIN, M.; JALALUDIN, S. 1992. Digestion and Nitrogen Conservation in Cattle and Buffaloes Given Rice Straw with or without Molasses. *J. Agric. Sci. Camb.*, N.º 119.
- ARORA, A.; MARTIN, E.M.; PELKKI, M.H.; CARRIER, D.J. 2013. Effect of formic acid and furfural on the enzymatic hydrolysis of cellulose powder and dilute acid-pretreated poplar hydrolysates, *ACS Sust. Chem. Eng.* 1: 23-28.
- BEAUCHEMIN, K.A.; KREUZER, M.; O'MARA, F.; MCALLISTER, T.A. 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: A review. *Aust. J. Exp. Agric.*, 48: 21-27.
- BUITRAGO-GUILLEN. M.E.; OSPINA-DAZA, L.A.; NARVÁEZ-SOLARTE, W. 2018. Sistemas silvopastoriles: alternativa en la mitigación y adaptación de la producción bovina al cambio climático. *Bol. Cient. Hist. Nat. U. de Caldas*, 22 (1): 31-42. DOI: 10.17151/bccm.2018.22.1.2
- CAMPS, D.N.; GONZÁLEZ, G.O. 2002. El gluten feed de maíz en el engorde vacuno en feedlot. (Disponiblibe: http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica_suplementacion/52-gluten_feed_de_maiz_en_el_engorde_en_feedlot.pdf verificado: 20 de diciembre de 2018).
- CHOUNG, J.J.; CHAMBERLAIN, D.G. 1995. Effects of intraruminal infusion of propionate on the concentrations of ammonia and insulin in peripheral blood of cows receiving an intraruminal infusion of urea. *J. Dairy Res.* 62:549-557.
- DENMAN, S.E.; MARTINEZ FERNANDEZ, G.; SHINKAI, T.; MITSUMORI, M.; MCSWEENEY, C.S. 2015. Metagenomic analysis of the rumen microbial community following inhibition of methane formation by a halogenated methane analog. *Front. Microbiol.* 6:1087.
- DILORENTO, N.; SMITH, D.R.; QUINN, M.J.; MAY, M.L.; PONCE, C.H.; STEINBERG, W.; ENGSTROM, M.A.; GALYEAN, M. 2010. Effects of grain processing and supplementation with exogenous amylase on nutrient digestibility in feedlot diets. *Livest. Sci.*, 137: 178-184.
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. 2015. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. (Disponible: <http://www.infoestat.com.ar> verificado: mayo de 2019).

- DREWNSKI, M.E.; ENSLEY, S.M.; BEITZ, D.C.; SCHOONMAKER, J.P.; LOY, D.D.; IMERMAN, P.M.; HANSEN, S.L. 2012. Assessment of ruminal hydrogen sulfide or urine thiosulfate as diagnostic tools for sulfur induced polioencephalomalacia in cattle. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation* 24: 702-709.
- FAO 2017. GLEAM 2.0. Modelo de Evaluación Ambiental de la Ganadería Mundial. Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero y su potencial de mitigación. (Disponible: <http://www.fao.org/gleam/results/es/verificado>: 20 de noviembre de 2020).
- FEDNA: 1999. Subproductos de cereales. (Disponible: http://www.fundacionfedna.org/sites/default/files/2_Subproductos_de_cereales.pdf verificado: 05 de junio de 2018).
- FIRKINS, J.L.; BERGER, L.L.; FAHEY, G.C. 1985. Evaluation of wet and dry distillers' grains and wet and dry corn gluten feeds for ruminants. *J. Anim. Sci.*, 60: 847-860.
- GARNETT, T. 2009. Livestock-related greenhouse gas emissions: impacts and options for policy makers. *Env. Sci. Pol.* 12,491-503.
- GERBER, P.J.; STEINFELD, H.; HENDERSON, B.; MOTTET, A.; OPIO, C.; DIJKMAN, J.; Falcucci, A.; Tempio, G. 2013. Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería – Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma.
- GOULD, D. 1998. Polioencephalomalacia, *Journal of Animal Science*, Volume 76, Issue 1, 309-314 pp. <https://doi.org/10.2527/1998.761309x>
- GRAINGER, C.; BEAUCHEMIN, K.A. 2011. Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production? *Anim. Feed Sci. Technol.*, 166-167. 308-320 pp.
- GUTIÉRREZ, F.; ESTRELLA, A.; IRAZÁBAL, E.; QUIMIZ, V.; PORTILLA, A.; BONIFAZ, N. 2018. Mejoramiento de la eficiencia de la proteína de los pastos en bovinos de leche utilizando cuatro formulaciones de balanceados. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 28(2):116-123. <http://doi.org/10.17163/lgr.n28.2018.09>
- HAM, G.A.; STOCK, R.A.; KLOPFENSTEIN, T.J.; HUFFMAN, R.P. 1995. Determining the net energy value of wet and dry corn gluten feed in beef growing and finishing diets. *J. Anim. Sci.* 73:353.
- HALES, K.E.; COLE, N.A.; MACDONALD, J.C. 2012. Effects of corn processing method and dietary inclusion of wet distillers grains with solubles on energy metabolism, carbon-nitrogen balance, and methane emissions of cattle. *J. Anim. Sci.* 90:3174-318.
- HALL, M.B.; PELL, A.N.; CHASE, L.E. 1998. Characterization of neutral detergent soluble fiber fermentation by mixed ruminal microbes. *Anim. Feed Sci. Tech.* 70:23-39.
- HINDRICHSEN, I.K.; WETTSTEIN, H.R.; MACHMULLER, A.; KREUZER, M. 2006. Methane emission, nutrient degradation and nitrogen turnover in dairy cows and their slurry at different milk production scenarios with and without concentrate supplementation. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 113: 150-161.
- HINO, T.; RUSSELL, J.B. 1985. Effect of reducing-equivalent disposal and NADH/NAD on deamination of amino acids by intact rumen microorganisms and their cell extracts. *Appl Environ Microbiol.*, 50(6): 1368-1374.
- HRISTOV, A.N.; OH, J.; LEE, C.; MEINEN, R.; MONTES, F.; OTT, T.; FIRKINS, J.; ROTZ, A.; DELL, C.; ADESOGAN, A.; YANG, W.; TRICARICO, J.; KEBREAB, E.; WAGHORN, G.; DIJKSTRA, J.; OOSTING, S. 2013. Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera – Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO₂. En: editado por PIERRE, GERBER, J.; HENDERSON, B.; HARINDER MAKKAR, P.S. (ed.). *Producción y sanidad animal*. FAO documento N.º 177. FAO, Roma, Italia.
- JOHNSON, K.A.; JOHNSON, D.E. 1995. Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.*, 73: 2483-2492.
- JUBB, KENNEDY, PALMER'S. 2015. Degeneraciones del Sistema Nervioso. Capítulo 4: Sistema Nervioso. *Patología de los animales domésticos*. Sexta edición. Editorial Elsevier Sy.Louis, Missouri.
- KEBREAB, E.; STRATHE, A.B.; DIJKSTRA, J.A.N.; MILLS, J.A.N.; REYNOLDS, C.; CROMPTON, L.A.; YAN, T.; FRANCE, J. 2010. Energy and protein interactions and their effect on nitrogen excretion in dairy cows. *EAAP Scientific Series*. 127. 417-426.
- KRISTENSEN, L.; MOGENSEN, M.T.; KNUDSEN, J.E.; HERMANSEN, C. 2011. Effect of production system and farming strategy on greenhouse gas emissions from commercial dairy farms in a life cycle approach *Livest. Sci.*, 140. 136-148 pp.
- KREHBIEL, C.; STOCK, R.; HEROLD, D.; SHAIN, D.; HAM, G.; CARULLA, J. 1995. Feeding wet corn gluten feed to reduce subacute acidosis in cattle. *Journal of animal science*. 73. 2931-9. DOI 10.2527/1995.73102931x
- KLOPFENSTEIN, T.J.; ERICKSON, G.E.; BREMER, V.R. 2008. Use of distillers by-products in the beef cattle feeding industry. *J. Anim. Sci.*, 86 (5): 1223-1231.
- LENG, R.A. 2011. The rumen - a fermentation vat or a series of organized structured microbial consortia: implications for the mitigation of enteric methane production by feed additives. *Livest Res Rural Dev*, 23: Artículo 258.
- LISKA, A.; YANG, H.; BREMER, V.; KLOPFENSTEIN, T.; WALTERS, D.; ERICKSON, G.; CASSMAN, K. 2009. Improvements in Life Cycle Energy Efficiency and Greenhouse Gas Emissions of Corn-Ethanol. *Journal of Industrial Ecology*. 13. 58-74. DOI 10.1111/j.1530-9290.2008.00105.x
- LONERAGAN, G.H.; GOULD, D.; WAGNER, J.; GARRY, F.; THOREN, M. 2005. The magnitude and patterns of ruminal hydrogen sulfide production, blood thiamine concentration, and mean pulmonary arterial pressure in feedlot steers consuming water of different sulfate concentrations. *Bovine Practitioner* 39:16-22.
- MARTIN, C.; MORGAVI, D.P.; DOREAU, M. 2010. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal* 4(3):351-65.
- MILLS, J.A.; KEBREAB, E.; YATES, C.M.; CROMPTON, L.A.; CAMMELL, S.B.; DHANOA, M.S.; AGNEW, R.E.; FRANCE, J. 2003. Alternative approaches to predicting methane emissions from dairy cows. *J. Anim. Sci.*, 81: 3141-3150.
- MITSUMORI, M.; SUN, W. 2008. Control of rumen microbial fermentation for mitigating methane emissions from the rumen. *Asian-Aus J Anim Sci* 21(1): 144-154.
- MONTENEGRO, J.; ABARCA, S. 2000. Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. En: *Intensificación de la ganadería en centro américa: beneficios económicos y ambientales*. CATIE- FAO - SIDE. Ed Nuestra Tierra. 334 p.
- MOSS, A.R.; GIVENS, D.I.; GARNSWORTHY, P.C. 1995. The effect of supplementing grass-silage with barley on digestibility, in-sacco degradability, rumen fermentation and methane production in sheep at two levels of intake. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 55: 9-33.
- NRC. 1996. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7th ed. Natl. Acad. Press, Washington, D. C.
- NOLAN, J.V.; DOBOS, R.C. 2005. Nitrogen Transactions in ruminants. En: DIJKSTRA, J.; FORBES, J.M.; FRANCE, J. (Eds.). *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*. 2.a ed. Wallingford. CABI. 177-206 pp.
- OCDE/FAO. 2017. *Perspectivas Agrícolas 2017-2026*, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/agr>
- PINARES-PATÍÑO, C.S.; BAUMONT, R.; MARTIN, C. 2003. Methane emissions by Charolais cows grazing a monospecific pasture of timothy at four stages of maturity. *Can J Anim Sci* 83: 769-777. doi: 10.4141/A03-034.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2011. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical. (Disponible: <https://www.r-project.org/> verificado: mayo de 2019).
- RAUSCH, K.D.; BELYEA, R.L.; ELLERSIECK, M.R.; SINGH, V.; JOHNSTON, D.B.; TUMBLESÓN, M.E. 2005. Particle size distributions of ground corn and DDGS from dry grind processing. *Am. Soc. Agric. Eng.* 48, 273-277.
- SARTURI, J.O.; ERICKSON, G.E.; KLOPFENSTEIN, T.J.; ROLFE, K.M.; BUCKNER, C. D.; LUEBBE, M.K. 2013. Impact of source of sulfur on ruminal hydrogen sulfide and logic for the ruminal available sulfur for reduction concept. *J. Anim. Sci.* 91:3352-3359.
- STOCK, R.A.; LEWIS, J.M.; KLOPFENSTEIN, T.J.; MILTON, C.T. 2000. Review of new information on the use of wet and dry milling feed by-products in feedlot diets. *J. Anim. Sci.* 77:1-12.
- UWITUZE, S.; PARSONS, G.L.; SCHNEIDER, C.J. 2011. Evaluation of sulfur content of dried distillers grains with solubles in finishing diets based on steam-flaked corn or dry-rolled corn. *J. Anim. Sci.* 89:2582-259.
- VAN ZIJDERVELD, S.M.; GERRITS, W.J.; DIJKSTRA, J.; NEWBOLD, J.R.; HULSHOF, R.B.; PERDOK, H.B. 2011. Persistency of methane mitigation by dietary nitrate supplementation in dairy cows *Journal of Dairy Science*, 94 (8). 4028-4038 pp.
- YOKOHAMA, M.T.; JOHNSON, K.A. 1988. En: D.C. Church (Ed.). Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 125-144 pp.
- WEISS, W.P.; WILLET, L.B.; ST-PIERRE, N.R.; BORGER, D.C.; MCKELVEY, T.R.; WYATT, D.J. 2009. Varying forage type, metabolizable protein concentration, and carbohydrate source affects manure excretion, manure ammonia, and n metabolism of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92:5607-5619.