

Artículo científico

Efecto de la sustitución de maíz por glicerol crudo sobre el consumo de materia seca, en vacas Holando en pastoreo

Effect of the substitution of corn by crude glycerol on dry matter intake, in grazing Holando cows

Alvaro Delgado-García¹, María de los A. Bruni-Borrone², Juana L. Galindo-Blanco¹, Juan Pablo Marchelli-Craviotto², Duniesky Rodríguez-Acosta¹ y Pablo Chilibroste-Symonds²

¹Instituto de Ciencia Animal

Apto. postal 24, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba

²Facultad de Agronomía, Universidad de la República del Uruguay, Paysandú, Uruguay

Correo electrónico: adgarcia@ica.co.cu

Resumen

Con el objetivo de evaluar el efecto de la sustitución de maíz por glicerol crudo sobre el consumo de MS, se realizó un estudio en el que se utilizaron 18 vacas Holando (16 multíparas y 2 primíparas) en los primeros 60 días de lactancia. Se determinó el consumo de los componentes de la dieta y el consumo de materia seca total, mediante la técnica del doble marcador; además, se realizó el balance alimentario. Las vacas se dividieron en dos tratamientos, y se incorporaron a un sistema de alimentación consistente en pastoreo nocturno y consumo de una ración parcialmente mezclada (RPM) en comedero, en el horario de la mañana. La dieta estuvo compuesta por ensilaje de sorgo y concentrado, este último definió los tratamientos. En el tratamiento control se empleó un concentrado que contenía maíz (38,6 % en base fresca), y en el otro, se sustituyó el maíz por glicerol crudo con 76,5 % de pureza. Para el procesamiento estadístico se utilizó un modelo mixto de medidas repetidas en el tiempo. El tratamiento influyó en el consumo de RPM, con un incremento de aproximadamente 2 kg de MS día⁻¹ en el control; sin embargo, no hubo efecto en el consumo de materia seca total. Se concluye que esta proporción de glicerol, en sustitución del maíz del concentrado, no afectó el consumo de materia seca en vacas altas productoras al inicio de la lactancia. Asimismo se recomienda su empleo, por los beneficios que se pueden obtener desde el punto de vista económico y ambiental.

Palabras clave: lactación, pastoreo, vacas lecheras.

Abstract

In order to evaluate the effect of the substitution of corn by crude glycerol on the DM intake, a study was conducted in which 18 Holando cows (16 multiparous and 2 primiparous ones) in the first 60 days of lactation, were used. The intake of the diet components and the intake of total dry matter were determined, through the double-marker technique; in addition, a feeding balance was made. The cows were divided in two treatments, and were incorporated to a feeding system consisting in night grazing and consumption of a partially mixed ration (PMR) in feeding trough, in the morning. The diet was composed by sorghum silage and concentrate feed, the latter defined the treatments. In the control treatment a concentrate feed that contained corn (38,6 % on fresh basis) was used, and in the other one, corn was substituted by crude glycerol with 76,5 % of purity. For the statistical processing a mixed model of measures repeated in time was used. The treatment influenced the intake of PMR, with an increase of approximately 2 kg DM-day⁻¹ in the control; however, there was no effect on the total dry matter intake. It is concluded that this proportion of glycerol, in substitution of corn in the concentrate, did not affect the dry matter intake in highly-producing cows at the beginning of lactation. Likewise, its use is recommended, due to the benefits that can be obtained from the economic and environmental point of view.

Keywords: lactation, grazing, dairy cows

Introducción

Una de las etapas más críticas del ciclo productivo de las vacas lecheras es el inicio de la lactancia, debido a que el alimento ingerido no es capaz de aportar la energía requerida; esto se conoce como balance energético negativo (Grummer y Rastani, 2003), y se acentúa más en ciertas circunstancias.

En el pastoreo, por ejemplo, hay una demanda extra de energía en relación con los sistemas estabulados; este incremento es originado por la actividad física de llevar las vacas al pastoreo y por el propio acto de pastar, conformado por la búsqueda, la selección y la cosecha del pasto.

El empleo de concentrados en la dieta ayuda a atenuar las deficiencias de nutrientes; sin embargo, el elevado precio de la mayoría de sus componentes replantea la necesidad de buscar alternativas de sustitución por fuentes más baratas, como el glicerol crudo. El aumento de la producción de biodiesel conlleva una alta disponibilidad de este subproducto y, por ende, una reducción en su precio (Moliner, 2013). Por otro lado, el aprovechamiento de esos grandes volúmenes de glicerol evita que se convierta en contaminante del medio ambiente.

El glicerol se puede utilizar para sustituir granos de cereales, ya que ambos aportan niveles similares de energía (Castañeda-Serrano *et al.*, 2014). En este sentido, Syahniar *et al.* (2016) se refieren al glicerol como un ingrediente aparentemente apropiado para usarse como fuente de energía en las dietas de los rumiantes, precisamente por no tener efecto perjudicial sobre el medio ambiente y por no afectar el proceso de fermentación ruminal. Además, es un componente normal del metabolismo animal que se produce por lipólisis del tejido adiposo o de la lipoproteína sanguínea. No obstante, no existe consenso sobre las implicaciones metabólicas de la administración de suplementos exógenos de glicerol en la dieta (Silva *et al.*, 2014), a pesar de haber sido ampliamente utilizado en vacas lecheras (Werner *et al.*, 2013). Tampoco existe mucha información de trabajos realizados en sistemas de pastoreo. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la sustitución de maíz por glicerol crudo sobre el consumo de materia seca de vacas en pastoreo.

Materiales y Métodos

Localización y periodo experimental. El estudio se realizó en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC), ubicada en la ruta 3, km 363, Facultad de Agronomía, Departamento de Paysandú, Uruguay (32,5° de latitud sur y 58° de longitud oeste); y tuvo una duración de 74 días.

Animales. Se utilizaron 18 vacas Holando clínicamente sanas, 16 multiparas y dos primiparas; con una condición corporal promedio preparto de 3,04 (\pm 0,26), determinada según la metodología de Edmonson *et al.* (1989), y un peso vivo promedio preparto de 687,87 kg (\pm 102,26).

Manejo y alimentación. A partir de los 10 días de lactancia las vacas se ubicaron en corrales individuales con acceso al agua y a la ración parcialmente mezclada (RPM) correspondiente, en el horario de la mañana. Después del ordeño de la tarde se lleva-

ron al pastoreo, en parcelas independientes por tratamiento. El tiempo de ocupación de cada parcela fue determinado según la disponibilidad de materia seca, y se garantizó más de 60 kg vaca⁻¹ día⁻¹.

Diseño experimental y tratamientos. Se utilizó un diseño de medidas repetidas en el tiempo, con un modelo mixto, en el que se incluyeron los efectos tratamiento y fecha. Para la asignación de las vacas a los tratamientos, se tomó en cuenta el número de lactancias, la fecha probable de parto, la condición corporal y el peso vivo. La alimentación se basó en pasto de festuca (*Festuca arundinacea*), lotus (*Lotus corniculatus*) y trébol blanco (*Trifolium repens*), con una RPM que definió los tratamientos:

- Control, T control: pasto + 22,0 kg de ensilaje de sorgo + 7,5 kg de concentrado A (38,6 % de maíz)
- Glicerol, T glicerol: pasto + 22,0 kg de ensilaje de sorgo + 5,0 kg de concentrado B (sin maíz) + 3,0 kg de glicerol crudo (76,5 % de pureza).

Se empleó glicerol crudo, procedente de la planta productora de biocombustibles y alcoholes del Uruguay (ALUR), cuyas características se muestran en la tabla 1.

Determinaciones en los alimentos. Las muestras de alimento para el análisis químico se recolectaron en las semanas seis y nueve del experimento. Se tomaron cantidades similares en el caso del alimento ofrecido, y aproximadamente 10 % del rechazo, para conformar muestras semanales por animal y por periodo de determinación. La pastura se muestreó mediante la técnica de simulación de pastoreo o *hand plucking* (Le Du y Penning, 1982), y se obtuvo una muestra compuesta por tratamiento.

Las muestras de alimentos se secaron en estufa de aire forzado a 60 °C, hasta obtener peso constante, y se molieron en un molino Willey con malla de 1 mm. Posteriormente se almacenaron en bolsas de nailon debidamente identificadas, y se enviaron al laboratorio de nutrición animal de la Facultad de Agronomía (UDELAR) para determinar el contenido de ceniza (CEN, para estimar la materia orgánica), el extracto al éter (EE) y la proteína bruta por el método de Kjeldahl. En el caso de la fibra detergente neutra, la fibra detergente ácida y la lignina (AOAC International, 2005), se empleó un analizador de fibra (ANKOM 220). Los carbohidratos no fibrosos se calcularon por diferencia entre la materia seca y las restantes fracciones (NRC, 2001). La composición química de los alimentos se muestra en la tabla 2.

Tabla 1. Características del glicerol crudo.

Característica	Unidad	Valor	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	40	ASTM D9307
Contenido de agua (Karl Fischer)	% (m m ⁻¹)	3,8	UNIT ISO-12937
Viscosidad a 20 °C	cSt	450	ASTM D445
Densidad a 20 °C	g ml ⁻¹	1,15	ASTM D4052
Ceniza	% (m m ⁻¹)	4,5	ASTM D5468-95
Valor calorífico bruto	Mcal kg ⁻¹	4,45	ASTM D5468-95
Contenido de glicerol	% (m m ⁻¹)	76,5	USP 32 Glycerin
MONG ¹ (materia grasa)	% (m m ⁻¹)	14	ISO 2464
Contenido de metanol	% (m m ⁻¹)	2,7	Mod. EN 14110

¹Materia orgánica no glicérica
(m m⁻¹)= masa/ masa

Tabla 2. Composición química de los alimentos en base seca (%).

Indicador	RPM		Pasto	
	T control	T glicerol	T control	T glicerol
Materia seca	55,00	55,80	20,60	21,90
Materia orgánica	93,40	92,70	88,30	88,30
Proteína bruta	11,70	10,60	16,10	14,60
FDN	31,70	29,70	53,10	55,20
FDA	14,50	13,70	23,80	27,90
Extracto etéreo	0,50	4,60	1,40	0,90
CNF	49,50	47,90	17,60	17,40

FDN: fibra detergente neutra, FDA: fibra detergente ácida,
CNF: carbohidratos no fibrosos.

CNF = 100 - (% FDN + % PB + % EE + % CEN),
RPM: ración parcialmente mezclada

Determinaciones en los animales. El consumo de alimento en comedero (CMS_{RPM}) fue medido diariamente para cada vaca, por la diferencia de peso entre la oferta y el rechazo. Por su parte, el consumo total de materia seca (CMS_t) se estimó mediante la suma del consumo de materia seca en comedero y el consumo de materia seca de pasto (CMS_p). El consumo de pasto se determinó dos veces, utilizando la técnica del doble marcador recomendada por Zorrilla (1979). Se empleó óxido de cromo III (Cr₂O₃) como indicador externo en la estimación de la producción fecal, y la fibra detergente ácido indigestible (FDA_i) como indicador interno, para la estimación de la digestibilidad de la dieta. La toma de muestras de alimento se hizo coincidir con las determinaciones del consumo.

La recolección de heces se realizó en ambos ordeños, mediante muestreo directo del recto en los últimos cuatro días de suministro de Cr₂O₃. Las

muestras se secaron en estufa de aire forzado a 60 °C, hasta peso constante, y se molieron. Después, se conformaron muestras compuestas en cada determinación, y se enviaron al laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía para la determinación de Cr por espectrofotometría de absorción atómica. A las muestras de heces, de alimento ofrecido y rechazado en comedero y de pasto se les determinó el contenido de fibra detergente ácido indigestible *in situ* (FDA_{iis}), según lo descrito por Correa *et al.* (2009).

Para estimar el consumo de materia seca de pasto se utilizó la siguiente ecuación, adaptada de Correa *et al.* (2009).

$$\text{CMS}_p (\text{kg vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}) = ([\text{FDA}_{ih}] \times H/0,8 - [\text{FDA}_{iRPM}] \times \text{CMS}_{RPM}) / [\text{FDA}_{ip}]$$

Donde:

FDA_{ih}: porcentaje de FDA_i en las heces

H: producción de heces

0,8: recuperación de FDAi en las heces

FDAi_{RPM}: porcentaje de FDAi en la ración parcialmente mezclada

FDAip: porcentaje de FDAi en el pasto

Para calcular la producción fecal H (kg día⁻¹) se dividió la dosis diaria del marcador (D, g) entre la correspondiente concentración fecal del marcador (C, g kg⁻¹ de materia seca).

$H = D/C$ (Correa *et al.*, 2009).

Se realizó balance alimentario, y para el balance energético se empleó la metodología propuesta por NRC (2001). En el caso del balance de proteína, se relacionaron los requerimientos de proteína bruta con el aporte de este nutriente por la dieta. Los requerimientos se obtuvieron de las tablas de valor nutricional propuestas por García-Trujillo y Pedroso (1989).

Análisis estadístico. El consumo de materia seca se analizó por un modelo mixto de medidas repetidas en el tiempo, con el uso del procedimiento Mixed de SAS 9.2 (SAS Institute, 2010). El modelo incluyó los efectos fijos de los tratamientos, la fecha, la interacción fecha x tratamiento, y el efecto aleatorio de vaca anidado dentro del tratamiento y el error residual. La vaca fue la unidad experimental sobre la que se realizaron las medidas repetidas. Las medias se compararon usando la prueba de Tukey y Kramer (Kramer, 1956), y un efecto se reportó como significativo cuando $p < 0,05$.

Modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + F_j + (TF)_{ij} + \beta(V)_k + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} : variable dependiente (CMSt, CMSRPM, CMSp)

μ : media general

T_i : efecto del i-ésimo tratamiento (i:1,2)

F_j : efecto de la j-ésima fecha (j:1,2)

$(TF)_{ij}$: interacción tratamiento por semana

$\beta(V)_k$: efecto de vaca anidado dentro de tratamiento

ϵ_{ijk} : error residual, con media cero y varianza σ_e^2

Resultados y Discusión

En la tabla 3 se muestra el consumo de alimento en vacas Holando al inicio de la lactancia. El consumo de materia seca total no se afectó por la inclusión de glicerol en la dieta; en ello pudo influir la alta disponibilidad de alimento y el tiempo de acceso a este. En tal sentido, Tarazona *et al.* (2012) definen el consumo voluntario como la cantidad de forraje que un animal puede consumir durante un día, sin limitaciones de tiempo ni disponibilidad. Por tanto, el consumo en pastoreo podría ser deficiente si el tiempo de acceso fuese limitado. Sin embargo, en este estudio los animales tuvieron aproximadamente ocho horas de pastoreo y cinco de consumo en comedero. En general, las vacas deben estar aproximadamente ocho horas comiendo, ocho horas de rumia y ocho horas de descanso, siempre que haya suficiente disponibilidad de alimento.

Otro factor que influye en el consumo es la calidad de la dieta, la cual fue similar para ambos tratamientos (tabla 1). Dentro de los componentes es importante el porcentaje de PB, que interviene de forma directa en la digestibilidad y, por consiguiente, en la velocidad de pasaje; ya que es esencial para la síntesis de proteína microbiana. Los carbohidratos no fibrosos aportan la energía y las cadenas carbonadas para la síntesis de esta proteína, y la fibra detergente neutra determina la digestibilidad de la dieta. Solo se afectó el porcentaje de extracto etéreo en el caso de la ración parcialmente mezclada. En este sentido, Tarazona *et al.* (2012) señalaron que la composición nutricional de la dieta influye directamente en los niveles de consumo y tiene efecto en la regulación físico-química y neurohormonal. Además, resaltan la importancia del contenido de FDN, por su relación directa con el efecto de llenado del rumen.

Los estudios relacionados con el empleo de glicerol han mostrado resultados variables en este indicador. Así, Zymon *et al.* (2012) y Werner *et al.* (2013) no encontraron diferencia al incorporar

Tabla 3. Consumo de alimento en vacas Holando al inicio de la lactancia.

Variable	Tratamiento		± EE	Efecto P - valor		
	T control	T glicerol		Tratamiento	Fecha	Tratamiento x F
CMSt ¹ , kg día ⁻¹	25,54	22,75	1,49	0,2044	0,3170	0,0911
CMSp ² , kg día ⁻¹	12,44	11,09	1,15	0,4157	0,7799	0,3221
CMS ³ _{RPM} , kg día ⁻¹	13,58	11,78	0,56	0,0369	0,2255	0,1829

¹Consumo de materia seca total, ²consumo de materia seca de pasto, ³consumo de materia seca de la ración parcialmente mezclada.

glicerol a la dieta. Un comportamiento similar fue informado por Eiras *et al.* (2014), al utilizarlo en toros hasta un 17,8 %; Vongsamphanh *et al.* (2017), al incluirlo en dietas destinadas a terneros; y D'Aurea *et al.* (2017), en la terminación de vacas Nelore.

Por otra parte, Shin *et al.* (2012) hallaron un incremento en el consumo al incluir glicerol a razón de 5 % de la materia seca de la dieta. Lo mismo ocurrió en el estudio de Dias *et al.* (2016), con igual porcentaje de glicerol, pero en cabras de engorde.

A su vez, niveles superiores de glicerol pueden afectar el consumo, como se observó en los resultados de Paiva *et al.* (2016) al incluirlo en el 21 % de la materia seca, y en los de Del-Bianco-Benedeti *et al.* (2016) con un 15 % de inclusión en la dieta de terneros.

El consumo total, de 25,54 y 22,75 kg MS día⁻¹ para los tratamientos control y con glicerol, respectivamente, fue similar al informado por Zymon *et al.* (2012), de 22,00 y 23,14 kg día⁻¹. Por su parte, el de forraje también fue similar para ambos tratamientos; mientras que el consumo de ración totalmente mezclada mostro una disminución de 1,80 kg MS vaca⁻¹ día⁻¹ ($p = 0,0369$) en el tratamiento con glicerol, lo que pudo deberse al rechazo que le hicieron algunas vacas al producto. Al respecto, Zymon *et al.* (2012) señalaron que las sales y el metanol pueden afectar el sabor del producto final. Esta disminución en el consumo también pudo estar relacionada con un mayor aprovechamiento de los nutrientes disponibles en la dieta y, consecuentemente, una menor necesidad de ingestión de la ración.

La disminución en el consumo de ración parcialmente mezclada y, con ello, de concentrado es factible siempre y cuando se mantengan los niveles de producción. Ello fue informado por Delgado *et al.* (2016), quienes además apreciaron una reducción en los costos de alimentación al sustituir maíz por glicerol crudo.

Una evaluación adecuada del consumo implica valorar los nutrientes que ingresan al organismo y los requerimientos nutricionales de la categoría en estudio. En la tabla 4 se muestra el balance alimentario del periodo evaluado, integrado por un balance de proteína, uno de energía y la relación proteína-energía. Los requerimientos de proteína bruta fueron similares para ambos tratamientos, lo que no ocurrió con el aporte, el cual fue superior en el control. La diferencia en el aporte de proteína bruta de la ración (340,18 g vaca⁻¹ día⁻¹) está relacionada, fundamentalmente, con el incremento en el consumo de materia seca de la ración parcialmente mezclada (tabla 3). Dicho incremento sugiere disminuir el contenido de fuentes de este nutriente en el control.

En cuanto a la energía neta, se apreció un equilibrio entre los requerimientos y los aportes en el tratamiento con glicerol; mientras que en el control se incrementó el aporte por parte de la dieta. Este excedente pudo haber sido utilizado en la síntesis de urea por el hígado, y ello guarda relación con los altos niveles de proteína en la dieta. Dicho proceso se realiza con el fin de eliminar el amoníaco del organismo, el cual puede ser altamente tóxico.

Tabla 4. Balance alimentario para los tratamientos evaluados.

Indicador	Tratamiento	
	T control	T glicerol
Requerimientos totales de PB, g vaca ⁻¹ día ⁻¹	2 978,53	2 888,44
Aporte del pasto, g vaca ⁻¹ día ⁻¹	2 002,84	1 615,14
Aporte de la RPM, g vaca ⁻¹ día ⁻¹	1 588,86	1 248,68
Diferencia ¹ , g vaca ⁻¹ día ⁻¹	613,17	-20,62
Requerimiento total de EN _L ² , Mcal vaca ⁻¹ día ⁻¹	30,19	29,57
Aporte de la RPM, Mcal vaca ⁻¹ día ⁻¹	19,40	19,13
Aporte del pasto, Mcal vaca ⁻¹ día ⁻¹	13,67	10,42
Diferencia ³ , Mcal vaca ⁻¹ día ⁻¹	2,88	-0,02
Relación proteína: energía, g vaca ⁻¹ Mcal ⁻¹	108,61	96,91
Consumo de materia seca de pasto por EN, kg MS día ⁻¹	11,22	11,08

$$^1\text{Dif} = \text{APB}_p + \text{APB}_{\text{RPM}} - \text{RPBt}$$

$$^2\text{REN}_L = \text{EN}_{\text{mant}} + \text{EN}_{\text{L(prod)}} - \text{EN}_{\text{L(MRC)}}$$

$$^3\text{Dif} = \text{A}_p \text{EN}_L + \text{A}_{\text{RPM}} \text{EN}_L - \text{REN}_L$$

La cantidad de amoníaco absorbido a través de las paredes del rumen se corresponde con su disponibilidad en el interior del órgano. Según Reynolds y Kristensen (2008), el amoníaco producido en el rumen es utilizado por los microorganismos para la síntesis de proteína microbiana o se absorbe para ser convertido en urea por el hígado.

Para la síntesis de proteína microbiana es necesaria una adecuada relación entre el amoníaco y la energía a nivel del rumen, además del aporte de cadenas carbonadas. Van Cleef *et al.* (2014) refirieron que el equilibrio energía/proteína en la dieta de los rumiantes es fundamental para el buen aprovechamiento del amoníaco. Por lo tanto, la relación más amplia para este indicador en el tratamiento control podría significar una mayor absorción de amoníaco a través de las paredes del rumen.

Por lo general, el empleo de glicerol reduce las concentraciones de amoníaco a nivel del rumen. Los estudios realizados por Avila-Stagno *et al.* (2014) mostraron una reducción lineal de este indicador a medida que se incrementó el contenido de glicerol en la dieta. Ello podría sugerir un mayor aprovechamiento del amoníaco, relacionado con la alta velocidad de degradación del glicerol en rumen.

Conclusiones

La sustitución de maíz por glicerol en la dieta de vacas lecheras altas productoras, a razón del 10 % de la materia seca, no afectó el consumo de materia seca total. Se recomienda el empleo de esta proporción de glicerol en la dieta de vacas lecheras, y se sugiere el estudio con otros niveles de inclusión y pureza.

Agradecimientos

Se agradece a todos aquellos que aportaron su granito de arena para la realización de este trabajo. Primeramente, quisiera agradecer al personal de la EEMAC, desde los obreros y estudiantes hasta los investigadores que apoyaron y guiaron en la fase experimental. También se les agradece a los compañeros de trabajo que colaboraron en la culminación del documento.

Referencias bibliográficas

AOAC International. *Official methods of analysis of AOAC International*. Maryland, USA: AOAC International, 2005.

Avila-Stagno, J.; Chaves, A. V.; Ribeiro, G. O.; Ungerfeld, E. M. & Mcallister, T. A. Inclusion of glyce-

rol in forage diets increases methane production in a rumen simulation technique system. *Br. J. Nutr.* 111 (5):829-835, 2014

- Castañeda-Serrano, R.; Ferriani-Branco, A.; Teixeira-Silvana, S. & Osmari, Milene. Evaluación de la inclusión de glicerina cruda en la dieta de ganado de carne: la digestibilidad de nutrientes aparente y la síntesis de proteína microbiana. *Zootecnia Trop.* 32 (2):109-117, 2014.
- Correa, H. J.; Pabón, M. L. & Carulla, J. E. Estimación del consumo de materia seca en vacas Holstein bajo pastoreo en el trópico alto de Antioquia. *LRRD.* 21 (4). <http://www.lrrd.org/lrrd21/4/corr21059.htm>. [04/09/2017], 2009.
- D'Aurea, A. P.; Ezequiel, J. M. B.; D'Aurea, E. M. O.; Santos, V. C.; Fávoro, V. R.; Homem Júnior, A. C. *et al.* Glicerina bruta associada à ureia na terminação de bovinos: consumo, desempenho e características da carne. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 69 (1):165-172, 2017.
- Del-Bianco-Benedeti, P.; Paulino, P. V. R.; Marcondes, M. I.; Maciel, I. F. S.; Silva, M. C. da & Faciola, A. P. Partial replacement of ground corn with glycerol in beef cattle diets: intake, digestibility, performance, and carcass characteristics. *PLoS ONE.* 11 (1):e0148224, 2016.
- Delgado, A.; Bruni, María de los Á.; Galindo, Juana L.; Marchelli, J. P.; Rodríguez, D. & Chilbroste, P. Efectos del glicerol al inicio de la lactancia en la producción y calidad de la leche de vacas Holando en pastoreo. *AIA.* 20 (2):5-18, 2016.
- Dias, J. C.; Silveira, A. L. F. da; Lançanova, J. A. C.; Hill, J. A. G. & Moletta, J. L. Crude glycerin in meat goat diets: intake, performance and carcass traits. *Ciênc. Rural.* 46 (4):719-724, 2016.
- Edmonson, A. J.; Lean, I. J.; Weaver, L. D.; Farver, T. & Webster, G. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72 (1):68-78, 1989.
- Eiras, C. E.; Barbosa, L. P.; Marques, J. A.; Araújo, F. L.; Lima, B. S.; Zawadzki, F. *et al.* Glycerine levels in the diets of crossbred bulls finished in feedlot: Apparent digestibility, feed intake and animal performance. *Anim. Feed Sci. Technol.* 197:222-226, 2014.
- García-Trujillo, R. & Pedroso, D. M. *Alimentos para rumiantes. Tablas de valor nutritivos*. La Habana: EDICA, 1989.
- Grummer, R. R. & Rastani, R. R. When should lactating dairy cows reach positive energy balance? *The Professional Animal Scientist.* 19 (3):197-203, 2003.
- Kramer, C. Y. Extension of multiple range tests to group means with unequal numbers of replications. *Biometrics.* 12:307-310, 1956.

- Le Du, Y. L. P. & Penning, P. D. Animal based techniques for estimating herbage intake. In: J. D. Leaver, ed. *Herbage intake handbook*. Hurley, England: British Grassland Society. p. 37-45, 1982.
- Molinero, Laura. *Producción de monoglicéridos por esterificación de glicerina con ácidos cinámico y p-metoxicinámico*. Tesis presentada para optar al grado de doctor. Madrid: Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Complutense de Madrid, 2013.
- NRC. *Nutrient requirements of dairy cattle*. Washington D.C.: National Academic Press, 2001.
- Paiva, P. G.; Del Valle, T. A.; Jesus, E. F.; Bettero, V. P.; Almeida, G. F.; Bueno, I. C. S. *et al.* Effects of crude glycerin on milk composition, nutrient digestibility and ruminal fermentation of dairy cows fed corn silage-based diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 212:136-142, 2016.
- Reynolds, C. K. & Kristensen, N. B. Nitrogen recycling through the gut and the nitrogen economy of ruminants: an asynchronous symbiosis. *J. Anim. Sci.* 86 (14 suppl):293-305, 2008.
- SAS Institute. *SAS/STAT 9.2. User's Guide: Statistics*. Version 9.2. Cary, USA: SAS Institute Inc., 2010.
- Shin, J. H.; Wang, D.; Kim, S. C.; Adesogan, A. T. & Staples, C. R. Effects of feeding crude glycerin on performance and ruminal kinetics of lactating Holstein cows fed corn silage or cottonseed hull-based, low-fiber diets. *J. Dairy Sci.* 95:4006-4016. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5121>. [09/10/2017], 2012.
- Silva, V. O.; Lopes, E.; Andrade, E. F.; Sousa, R. V.; Zangeronimo, M. G. & J. Pereira L. Use of biodiesel co-products (Glycerol) as alternative sources of energy in animal nutrition: a systematic review. *Arch. Med. Vet.* 46 (1):111-120, 2014.
- Syahniar, T. M.; Ridla, M.; Samsudin, A. A. B. & Jayanegara, A. Glycerol as an energy source for ruminants: A meta-analysis of *in vitro* experiments. *Media Peternakan.* 39 (3):189-194. <https://doi.org/10.5398/medpet.2016.39.3.189>. [09/10/2018], 2016.
- Tarazona, A. M.; Ceballos, María C.; Naranjo, J. F. & Cuartas, C. A. Factores que afectan el comportamiento de consumo y selectividad de forrajes en rumiantes. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* 25 (3):473-487, 2012.
- Van Cleef, E. H. C. B.; Ezequiel, Jane M. B.; Silva, D. A. V. da; D'Aurea, P.; Van Cleef, Flavia de O. S. & Patiño-Pardo, R. M. Glicerina cruda en la dieta de bovinos: efecto sobre los parámetros bioquímicos séricos. *Rev. Colomb. Cienc. Anim.* 27 (1):86-102, 2014.
- Vongsamphanh, P.; Preston, T. R. & Leng, R. A. Glycerol supplementation increased growth rates, decreased the acetate: propionate ratio in rumen VFA, and reduced enteric methane emissions, in cattle fattened on cassava pulp-urea, brewers' grains and rice straw. *LRRD.* 29 (2). <http://www.lrrd.org/lrrd29/2/phan29036.html>. [09/10/2017], 2017.
- Werner, A.; Trâvén, M.; Bertilsson, J. & Holtenius, K. High-and low-purity glycerine supplementation to dairy cows in early lactation: effects on silage intake, milk production and metabolism. *Animal.* 7 (9):1479-1485, 2013.
- Zorrilla, J. Determinación del consumo voluntario en condiciones de libre pastoreo. En: *Manual de técnicas de Investigación en Nutrición de Rumiantes*. México: Departamento de Nutrición Animal, INIP-SARH, 1979.
- Zymon, M.; Strzetelski, J.; Furgal-Dierżuk, I.; Kowalczyk, J. & Osieglowski, S. The effectiveness of rapeseed cake and glycerine in feeding dairy cows. *J. Anim. Feed Sci.* 21 (1):49-64, 2012.

Recibido el 25 de noviembre del 2017

Aceptado el 2 de abril del 2018