

Efectos del glicerol al inicio de la lactancia en la producción y calidad de la leche de vacas Holando en pastoreo

Effects of glycerol at the beginning of lactation on the production and quality of milk from grazing Holstein cows

**Álvaro Delgado,^{1*} María de los Ángeles Bruni,²
Juana Luz Galindo, Juan Pablo Marchelli,²
Duniesky Rodríguez¹ y Pablo Chilbroste²**

¹ Instituto de Ciencia Animal (ICA)
Apartado Postal 24
San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

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

* Correspondencia: adgarcia@ica.co.cu

Resumen

Se utilizaron 18 vacas Holando (16 múltiparas y 2 primíparas), en los primeros 60 días de lactancia, para evaluar el efecto de sustituir maíz por glicerol en la producción y calidad de la leche. Las vacas se dividieron en dos tratamientos y se vincularon a un sistema de alimentación compuesto por pastoreo nocturno y consumo de una ración totalmente mezclada parcial (RTMp) en comedero, en el horario de la mañana. La RTMp estuvo compuesta por ensilaje de sorgo y concentrado; este último definió los tratamientos. En el tratamiento control se empleó un concentrado que contenía maíz (38.60% en base fresca) y en el otro, se sustituyó el maíz por glicerol crudo con 76.50% de pureza. Para el procesamiento estadístico se utilizó un modelo mixto de medidas repetidas en el tiempo, con el uso del procedimiento MIXED de SAS 9.2 (2010). El tratamiento no influyó en la producción de leche. Dentro de

Abstract

Eighteen Holstein cows (16 multiparous and 2 primiparous) were used in the first 60 days of lactation, to evaluate the effect of replacing corn by crude glycerin in the production and quality of milk. The cows were divided into two treatments and were linked to a feeding system composed by nocturnal grazing and consumption of a fully mixed partial ration (FMPR) in a feeder in the morning time. The FMPR was composed of sorghum silage and concentrate; the latter defined the treatments. In the control treatment a concentrate containing corn (38.60% on a fresh basis) was used and in the other, corn was replaced by crude glycerol at 76.50% purity. For statistical processing, a mixed model of time-repeated measures was used, using the MIXED procedure of SAS 9.2 (2010). The treatment did not influence milk production. Within the milk quality indicators, only the percentage of fat and the urea nitrogen

los indicadores de calidad de la leche sólo se afectaron el porcentaje de grasa y el contenido de nitrógeno ureico en leche. Los niveles más altos se obtuvieron en el tratamiento control con 3.66% y 20.7 mg.dL⁻¹, respectivamente; mientras que el tratamiento con glicerol arrojó valores de 3.36% y 17.88 mg.dL⁻¹. Por tanto, se concluye que el glicerol crudo se puede utilizar hasta en un 9% de la materia seca, en dietas de vacas altas productoras al inicio de la lactancia; y se recomienda su empleo por los beneficios que se pueden obtener desde el punto de vista económico y ambiental.

Palabras clave

Glicerol, sustitución, leche, calidad, pastoreo.

content in milk were affected. The production values of milk yielded no differences between the treatments. Among the indicators of quality of milk only the percentage of fat and urea nitrogen content of milk were affected, these were higher in the control group with 3.66% and 20.7 mg.dl⁻¹, respectively, while the treatment with glycerol returned values of 3.36% and 17.88 mg.dl⁻¹. Therefore, it is concluded that the proportion of glycerol proposed in this work can be used in high-producing cows in early lactation and its use is recommended for the benefits to be gained from an economic and environmental perspective.

Keywords

Glycerol, replace, milk, quality, grazing.

Introducción

El periodo de transición es una de las etapas más críticas del ciclo productivo de las vacas lecheras (García y Hippen, 2008). Se caracteriza por un incremento en los requerimientos nutritivos. Esto, sumado a la disminución en la ingestión de materia seca, genera un desbalance de nutrientes (Wheeler, 2010); sobre todo, de energía, lo que se conoce como balance energético negativo (BEN) (Grummer y Rastani, 2003).

Según Walsh *et al.* (2007), el BEN puede ocasionar trastornos metabólicos que se reflejan con afectaciones de los indicadores productivos y reproductivos. Una de las vías más empleadas con el fin de minimizar sus efectos perjudiciales es el empleo de alimentos concentrados, capaces de incorporar a la dieta una mayor cantidad de nutrientes por una menor unidad de volumen. Sin embargo, el uso irracional de los concentrados se relaciona con trastornos a nivel del rumen que afectan el estado de salud del animal y, en ocasiones, llegan a comprometer su vida.

Por otro lado, el concentrado resulta ser el alimento más costoso; por lo que la sustitución de determinada cantidad del mismo por una fuente más barata de nutrientes puede aumentar la rentabilidad del sistema, siempre y cuando no se afecte la producción y calidad de la leche.

Los subproductos agroindustriales constituyen una alternativa en la suplementación de vacas lecheras, que disminuyen los costos de producción. Los altos volúmenes que se generan de glicerol, como subproducto en la fabricación de biodiesel, propician su empleo en la alimentación animal y evita que se convierta en un contaminante del medio ambiente (Donkin, 2008; Mota *et al.*, 2009).

Generalmente, se emplea en sustitución del maíz ya que aporta cantidades similares de energía (Donkin *et al.*, 2009). Son varios los trabajos que utilizan el glicerol en sustitución

del maíz; incluso, en el periodo de transición, pero son pocos los que lo emplean en sistemas de pastoreo. Por tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la sustitución de maíz por glicerol sobre la producción y calidad de la leche de vacas Holando en pastoreo.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC) Ruta 3, km 363, Facultad de Agronomía, Departamento de Paysandú, Uruguay (32.5° de latitud Sur y 58° de longitud Oeste). Tuvo una duración de 74 días y se llevó a cabo entre los meses de agosto y octubre de 2012.

Se utilizaron 18 vacas Holando (16 multíparas y dos primíparas), con una condición corporal promedio preparto de 3.04 (\pm 0.26); la cual se determinó según Edmonson *et al.* (1989), un peso vivo promedio preparto de 687.87 (\pm 102.26) kg y, aproximadamente, 3.17 (\pm 1.42) lactancias.

En los primeros 10 días de lactancia las vacas se adaptaron a la dieta que se emplearía en la fase experimental. Posteriormente, se ubicaron en corrales individuales con sombra, acceso al agua y al alimento correspondiente al tratamiento, en el horario de la mañana. El glicerol se suministró sobre la ración totalmente mezclada parcial (RTMp) correspondiente. El pastoreo se realizó en parcelas independientes después del ordeño de la tarde, entre las 17:30 y las 02:30 horas.

La asignación a los tratamientos se llevó a cabo por número de lactancia, fecha probable de parto, condición corporal y peso vivo, nueve días previos al parto. Los mismos indicadores fueron tomados en cuenta para la conformación de los bloques.

La alimentación se basó en pasto de festuca (*Festuca arundinacea*), lotus (*Lotus corniculatus*) y trébol blanco (*Trifolium repens*) con una RTMp, la cual definió los tratamientos.

-Tratamiento control, T Control: 22 kg de ensilaje de sorgo + 7.50 kg de concentrado A (38.60% de maíz).

-Tratamiento con glicerol, T Glicerol: 22 kg de ensilaje de sorgo + 5 kg de concentrado B (sin maíz) + 3 kg de glicerol crudo (76.50% de pureza).

Los componentes del concentrado y la composición química del ensilaje se muestran en los cuadros 1 y 2, respectivamente.

Cuadro 1
Composición de los concentrados utilizados en base fresca.

<i>Alimento</i>	<i>Concentrado A (%)</i>	<i>Concentrado B (%)</i>
Maíz grano	38.60	—
Trigo	12.90	21.00
Exp. Soja	25.80	42.00
Afrechillo trigo	19.30	31.50
Sal común	0.64	1.05
CaCO ₃	0.64	1.05
Fosfato bi Ca	0.64	1.05
Óxido Mg	0.20	0.30
Bicarbonato Na	1.00	1.60
Núcleo ACA ¹	0.30	0.50
Materia seca	90.12	89.53

¹Aporte por kg: Vitamina A (6000000 UI), Vitamina D3, (1200000 UI), Vitamina E (14000 UI), Ca (135 g), P (1,2 g), Mg (10 g), Cu (6 g), Zn (40 g), Mn (35 g), Fe (42 g), I (0,95 g), Se (0,12 g), Co (0,6 g).

Cuadro 2
Composición química del ensilaje de sorgo (planta entera).

<i>Parámetros</i>	<i>Valores</i>	<i>Método analítico</i>
Materia seca, %	29.20	GAFTA N°130 2:0
pH	3.89	pH-metro
Proteínas (Nx6.25), %	7.20	GAFTA N°130 4:0
Fibra detergente ácida, %	24.00	ANKOM Technology Method (A200/A220)
Fibra detergente neutra, %	48.00	ANKOM Technology Method (A200/A220)
Nitrógeno amoniacal, %	0.12	GAFTA N°130 4:0

La disponibilidad de forraje (kg MS.ha⁻¹) se estimó por el método comparativo adaptado de Haydock y Shaw (1975) con una escala de cinco puntos y tres réplicas, tomadas en áreas representativas de la pastura. Los valores de 2,358 (±718) y 2,285 (±765) kg MS.ha⁻¹ garantizaron aproximadamente 11 días de estancia en la parcela, con niveles residuales por encima de 60 kg.vaca.⁻¹ha⁻¹ (aproximadamente 97 kg.vaca.⁻¹ha⁻¹).

Las muestras de alimento para el análisis químico se recolectaron en las semanas seis y nueve del experimento. La oferta y rechazo de la RTMp se muestrearon diariamente. Se tomaron cantidades similares en el caso del ofrecido, aproximadamente 500 g y 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 hizo una muestra compuesta por tratamiento para cada periodo de determinación.

Las muestras de alimentos se secaron en estufa de aire forzado a 60°C, hasta obtener peso constante, y se molieron en Molino Thomas-Wiley con malla de un milímetro. Posteriormente, se almacenaron en bolsas de nylon debidamente identificadas y se enviaron al Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Agronomía (UDELAR) para determinar los contenidos de Cenizas (CEN, para estimar la materia orgánica), extracto al éter (EE) y PB (Kjeldahl N x 6.25), según AOAC (1990).

Se empleó un analizador de fibra (ANKOM 220) para determinar la fibra detergente neutra, fibra detergente ácida y lignina, según procedimiento de Van Soest *et al.* (1991). Los carbohidratos no fibrosos se estimaron por diferencia entre la materia seca y las restantes fracciones determinadas (NRC, 2001). La energía neta de lactancia se calculó según la metodología propuesta por el (NRC, 2001). La composición química de los alimentos se muestra en el cuadro 3.

Cuadro 3
Composición química de los alimentos correspondientes
al T Control y T Glicerol base seca ($\bar{x} \pm DS$).

Componentes	RTMp		Pasturas	
	T Control	T Glicerol	T Control	T Glicerol
Materia seca,%	55.0±4.3	55.8±3.9	20.6±3.7	21.9±3.1
Materia orgánica,%	93.4±0.4	92.7±0.3	88.3±1.0	88.3±0.4
Proteína bruta,%	11.7±0.7	10.6±1.2	16.1±0.7	14.6±0.3
FDN ¹ ,%	31.7±0.6	29.7±1.9	53.1±2.9	55.2±3.9
FDA ² ,%	14.5±1.2	13.7±1.3	23.8±6.5	27.9±2.7
Extracto etéreo,%	0.5±0.4	4.6±3.4	1.4±0.7	0.9±0.1
CNF ³ ,%	49.5±0.7	47.9±1.0	17.6±3.7	17.4±3.9
EN _L ⁴ , Mcal.kg MS ⁻¹	1.43	1.62	0.96	0.94

¹Fibra detergente neutra, ²Fibra detergente ácida, ³Carbohidratos no fibrosos, CNF=100-(%FDN+%PB+%EE+%CEN), ⁴Energía neta de lactancia. RTMp: ración totalmente mezclada parcial.

La producción de leche se registró individualmente en cada ordeño de los 74 días de prueba con el uso de medidores (Waikato Milking Systems NZ Ltd., Waikato, Hamilton, New Zealand). Para determinar la calidad, se tomaron muestras semanales de dos ordeños consecutivos (pm y am), a las cuales se les adicionó dicromato de potasio, a razón de 0.06 g.100 mL⁻¹ de leche y se conservaron en refrigeración para su posterior envío al laboratorio. Se analizó el contenido de grasa, proteína, lactosa, urea y recuen-

tos celulares mediante el método de espectroscopia de infrarrojo cercano (*Near Infrared Reflectance Spectroscopy*-NIRS, Milko-Scan, FOSS Electric, HillerOd, Denmark).

A partir de la producción y la calidad de la leche, se calculó la leche corregida por grasa (LCG). Para ello, se utilizó la fórmula propuesta por Gaines (1928).

$$\text{LCG } 4\% \text{ (kg.)} = 0.4 \times \text{kg leche} + 15 \times \text{kg grasa.}$$

También, se calculó la leche corregida por energía (LCE), según la ecuación de Orth (1992).

$$\text{LCE (kg)} = [(0.327 \times \text{kg leche}) + (12.95 \times \text{kg grasa}) + (7.2 \times \text{kg proteína})]$$

A la composición química se le determinaron estadígrafos de posición (media,) y de dispersión (desviación estándar, DS).

La información productiva se analizó por un modelo mixto de medidas repetidas en el tiempo, con el uso del procedimiento MIXED de SAS 9.2 (SAS, 2010). El modelo incluyó los efectos fijos de los tratamientos, semana de lactancia y la interacción semana de lactancia \times tratamiento y bloque como efecto aleatorio.

La unidad experimental sobre la que se realizaron las medidas repetidas fue la vaca. La estructura de covarianza elegida fue una estructura de primer orden heterogénea y auto-regresiva en base al criterio de Kenward-Roger. 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:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + T_j + S_k + (TS)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} : Variable dependiente (PL, LCG, LCE, Grasa, Proteína, Lactosa, MUN y RC)

μ : es la media general

β_i : es el efecto del i -ésimo bloque ($i: 1,2...9$)

T_j : es el efecto del j -ésimo tratamiento ($j:1,2$)

S_k : es el efecto de la k -ésima semana ($k:3,4...9$)

$(TS)_{jk}$: interacción tratamiento por semana

ε_{ijk} : error experimental

Resultados

No se encontró diferencia para la producción de leche con relación al tratamiento. Dentro de los indicadores de calidad de la leche sólo se afectaron ($P < 0.05$) el porcentaje de grasa y contenido de nitrógeno ureico. Ambos indicadores bajaron en el tratamiento donde se empleó el glicerol, con 0.30 para el porcentaje de grasa y 2.82 g.dL⁻¹ en el contenido de nitrógeno ureico. El efecto semana influyó, en la mayoría de los indicadores, con excepción del porcentaje de lactosa y los recuentos celulares (cuadro 4).

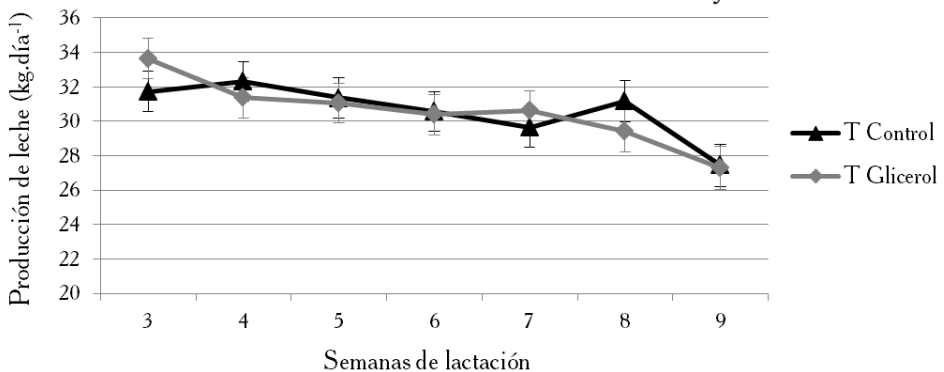
Cuadro 4
Producción y calidad de la leche de vacas Holando
al inicio de la lactancia correspondiente al T Control y T Glicerol.

Variable	Tratamientos		±EE	Efectos P – valor		
	T Control	T Glicerol		Tratamiento	Semana	Trat. *Sem
PL ¹ , kg.día ⁻¹	30.61	30.63	1.00	0.9871	0.0001	0.0614
LCC ² , kg.día ⁻¹	28.09	27.28	0.78	0.4712	0.0001	0.6619
LCE ³ , kg.día ⁻¹	30.38	29.62	0.86	0.5439	0.0001	0.6531
Grasa, %	3.66	3.36	0.09	0.0323	0.0067	0.1386
Proteína, %	3.13	3.02	0.06	0.1989	0.0044	0.2425
Lactosa, %	4.85	4.87	0.04	0.6602	0.4298	0.4437
MUN ⁴ , mg.dL ⁻¹	20.70	17.88	0.55	0.0001	0.0446	0.1533
RC ⁵ × 10 ³ .mL ⁻¹	1.94	2.10	0.14	0.4466	0.5094	0.7421

Diferencia significativa con $P < 0.05$ (Kramer, 1956).¹ Producción de leche, ² Leche corregida por grasa (4%), ³ Leche corregida por energía, ⁴ Nitrógeno ureico en leche, ⁵ Recuentos celulares.

La figura 1 muestra la producción de leche, la cual tiene una tendencia a la disminución con relación al tiempo, para ambos tratamientos. El valor más elevado, para el tratamiento control, se obtuvo en la cuarta semana, con 32.32 kg.día⁻¹; y descendió hasta 27.44 kg.día⁻¹, en la novena semana. Lo mismo ocurrió en el tratamiento donde se empleó el glicerol, el cual comenzó con 33.64 kg.día⁻¹ en la tercera semana y en la novena sólo se produjo 27.29 kg.día⁻¹.

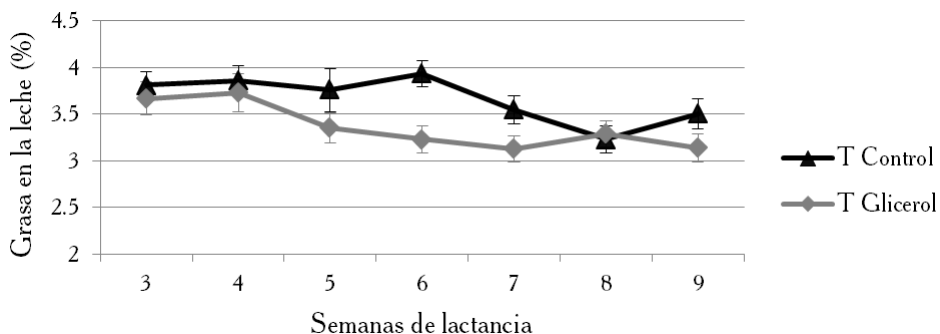
Figura 1
Producción de leche de vacas Holando del T Control y T Glicerol.



En la figura 2 se muestra el porcentaje de grasa de la leche, el cual tiene resultados variables con relación al tiempo. El tratamiento control experimenta un valor máximo para este indicador en la semana seis, momento en el que se observa mayor diferencia en ambos tratamientos ($P < 0.05$).

Figura 2

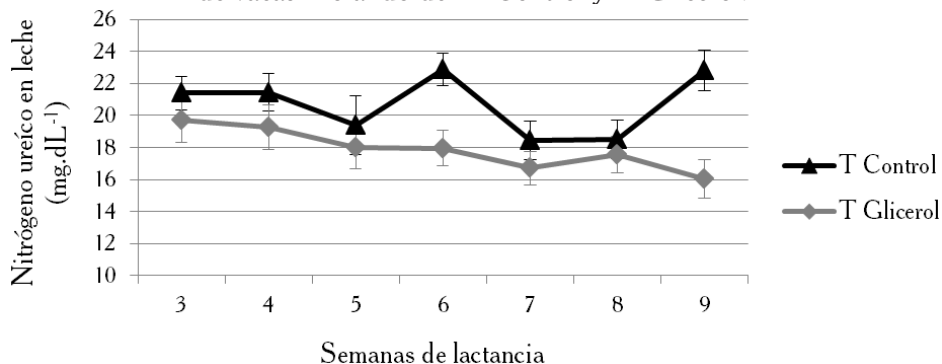
Porcentaje de grasa en la leche de vacas Holando del T Control y T Glicerol.



En la figura 3 se expone el nitrógeno ureico en leche. El tratamiento con glicerol mostró una tendencia al descenso con relación al tiempo. El tratamiento control, por su parte, incrementó los niveles de N ureico en las semanas seis y nueve.

Figura 3

Contenido de nitrógeno ureico en la leche de vacas Holando del T Control y T Glicerol.



En el cuadro 5 se puede observar el volumen de concentrado suministrado a cada vaca, diariamente; el cual se divide según sus componentes. Además, se informan los precios de los mismos.

Cuadro 5
Análisis económico.

Alimento	Precios,	Ofrecido, kg.vaca ¹ .día ¹		Ofrecido, US \$	
	US \$.t ¹	T Control	T Glicerol	T Control	T Glicerol
Maíz	250	2.90	-	0.73	-
Trigo	275	0.97	1.05	0.27	0.29
Exp. Soja	300	1.94	2.10	0.58	0.63
Afrechillo de trigo	155	1.45	1.58	0.22	0.24
Glicerol	115	-	3.00	-	0.35
Total	-	7.26	7.73	1.80	1.51

Discusión

Debido al desarrollo vertiginoso de la producción de biocombustibles, se han generado volúmenes considerables de glicerina, que ha excedido la capacidad de utilización por parte de las industrias químicas y farmacéuticas (Donkin, 2008). Esto sugiere una disminución en su precio, lo que fortalece la idea de emplearlo en mayores proporciones, como sustituto de concentrados energéticos (Kerr *et al.*, 2007); y, de esta forma, aumentar la eficacia biológica y financiera de la producción de biodiesel (Zacaroni, 2010).

Por otro lado, con esto se evita que se dañe el aspecto ecológico del biodiesel, ya que el excedente puede ser vertido al medio, convirtiéndose en otro contaminante (Mota *et al.*, 2009).

El empleo del glicerol, además de disminuir los costos de producción, mantiene los niveles productivos. Esto se puede corroborar en los trabajos realizados por Shin *et al.* (2012) y Zymon *et al.* (2012). Bodarski *et al.* (2005) por su parte, incrementaron la producción de leche en 4.7 kg.día⁻¹, lo que está relacionado, fundamentalmente, con el aumento en el consumo. Echeverría *et al.* (2010) también incrementaron la producción de leche en aproximadamente 2.4 kg.día⁻¹ para los tratamientos que recibieron glicerol. Ellos lo evaluaron en la etapa de lactancia media. En este periodo, generalmente, la producción va en descenso y el mantenimiento en la persistencia de la curva de lactancia pudiera ser la causa de este incremento.

En el presente estudio este indicador muestra una tendencia a disminuir con relación al tiempo, para ambos tratamientos. Chung *et al.* (2007) también informaron descenso en la producción a partir de los 32 días para el tratamiento control y se mantuvo constante, después de la cuarta semana, para el tratamiento donde se suplementó con glicerol; mientras que Nicolini *et al.* (2013) informaron la máxima producción de leche en la duodécima semana de lactancia.

La leche corregida por grasa (4%) y leche corregida por energía relaciona la producción con los indicadores de calidad de la misma; y por esa razón resultan importantes al valorar la eficiencia del sistema. El tratamiento no influyó en la producción de leche co-

rregida por grasa. Lo mismo ocurrió en los trabajos realizados por Carvalho *et al.* (2011) y Shin *et al.* (2012). La leche corregida por energía tampoco se modificó con el empleo de glicerol; sin embargo, DeFrain *et al.* (2004) observaron una tendencia a disminuir con los niveles de glicerol empleados y lo atribuyeron al menor contenido de grasa en la leche para estos tratamientos.

La fermentación de los carbohidratos en el rumen origina ácidos grasos de cadena corta, dentro de los que se encuentra el acético; el cual es el principal precursor de la grasa de la leche. Por lo tanto, la disminución en el porcentaje de grasa, para el tratamiento donde se empleó el glicerol, puede estar relacionada con bajos niveles de acético en el rumen. Las dietas que contienen glicerol, por lo general, tienden a disminuir la proporción de acético a expensas de una mayor producción de propiónico. DeFrain *et al.* (2004) no obtuvieron diferencia en estos ácidos grasos volátiles en el parto. Sin embargo, en el postparto el empleo de glicerol aumentó los niveles de propiónico con una disminución en la relación acético: propiónico. Carvalho *et al.* (2011) y Marchelli *et al.* (2015) también observaron disminución en la relación acético: propiónico al incorporar glicerol a la dieta.

Shin *et al.* (2012) informaron modificaciones en el porcentaje de grasa, con los valores más elevados, al incorporar el 5% de la materia seca de la dieta en forma de glicerol. Chung *et al.* (2007) y Carvalho *et al.* (2011), por su parte, no encontraron diferencias en este indicador con relación al tratamiento.

Los resultados de grasa, 3.66% para el tratamiento control y 3.36% para el tratamiento con glicerol, respectivamente, fueron inferiores a los obtenidos por DeFrain *et al.* (2004) y Carvalho *et al.* (2011); quienes mostraron valores por encima del 4% y superiores a los informados por Zymon *et al.* (2012), con un rango entre 3.17 y 3.45%.

Los porcentajes de proteína y la lactosa son similares en ambos tratamientos. Chung *et al.* (2007) y Carvalho *et al.* (2011) tampoco observaron diferencias en estos indicadores de la calidad de la leche. El porcentaje de lactosa, 4.85 y 4.87%, para los tratamientos control y con glicerol, respectivamente, es similar al rango obtenido por Zymon *et al.* (2012), entre 4.7 y 4.79%. Lo mismo ocurre con la proteína. La lactosa no se modificó con relación al tiempo, lo que refuerza lo planteado por Galvis (2004), cuando se refiere a la lactosa como el componente de la leche de menor variabilidad.

El amoníaco que no es utilizado por las bacterias del rumen, para la síntesis de proteína microbiana, se absorbe y es llevado al hígado para ser convertido en urea. Parte de esta urea se reincorpora al rumen (reciclaje de la urea) y el resto es transportada por la sangre para su posterior excreción en la orina y la leche. Gracias a esto, las mediciones de nitrógeno ureico en sangre y leche permiten valorar la relación amoníaco-energía a nivel del rumen (Cerón-Muñoz *et al.*, 2014). Por lo tanto, la disminución de los niveles de nitrógeno ureico en leche para el tratamiento con glicerol pudo estar relacionada con un efecto decreciente en la producción de amoníaco a nivel del rumen, o un mejor aprovechamiento de éste, como resultado de una mayor disponibilidad de energía, y por consiguiente, incremento en la síntesis de proteína microbiana.

Lage *et al.* (2010) demostraron que la inclusión de glicerol crudo, hasta un 12% de la materia seca en dietas de rumiantes, aumenta la digestibilidad de los carbohidratos no

fibrosos, lo que incrementa la producción de energía. Con relación a esto, Cardoso *et al.* (2015) plantearon que el NADH excedente de la entrada del glicerol a la vía de Glicólisis anaeróbica, se puede utilizar por los microorganismos del rumen para aumentar la eficiencia en la incorporación de amoníaco ruminal a la síntesis de proteína bacteriana. Este proceso podría justificar la reducción de amoníaco en el rumen y el nitrógeno ureico en sangre y leche.

Donkin *et al.* (2009) también obtuvieron una disminución en los niveles de urea en leche con el empleo del glicerol. Van Cleef *et al.* (2014) presentaron los menores tenores de urea cuando lo emplearon a razón del 7.50% de la materia seca; y sugieren que se debe a un mayor aporte de energía. Sin embargo, Carvalho *et al.* (2011) y Zymon *et al.* (2012) no mostraron efecto del tratamiento sobre este indicador. DeFrain *et al.* (2004), obtuvieron una tendencia a la disminución del nitrógeno ureico en leche para los tratamientos donde empleó el glicerol, sin experimentar cambios en el nivel de amoníaco en el rumen, en el postparto. Marchelli *et al.* (2015), tampoco informaron modificaciones del amoníaco en rumen con la inclusión de glicerol.

Los niveles de nitrógeno ureico obtenidos en este estudio, 20.7 y 17.88 mg.dL⁻¹, para los tratamientos control y con glicerol, respectivamente, son superiores a los informados por DeFrain *et al.* (2004) y Carvalho *et al.* (2011), quienes presentan valores por debajo de los 16 mg.dL⁻¹ y similares a los obtenidos por Zymon *et al.* (2012), con un rango entre 17.77 y 21.6 mg.dL⁻¹.

Los recuentos celulares tampoco se afectaron por la inclusión del glicerol en la dieta. Una de las principales causas que ocasiona el incremento de los recuentos celulares es la mastitis, debido a que el proceso infeccioso viene acompañado de la descamación de las células epiteliales. Este indicador tiene gran influencia de los factores medio ambientales, pero la nutrición puede afectarlo por la relación que tiene con el nivel inmunológico. El balance energético negativo puede deprimir el nivel inmunológico (Meglia, 2007), lo que trae consigo un incremento en la susceptibilidad a padecer de enfermedades propias del periparto; entre otras: mastitis, metritis y retención placentaria (Lam, 2013).

La falta de energía puede provocar cetosis (Walsh *et al.* 2007), como respuesta al catabolismo exagerado de las grasas. Este proceso incrementa los niveles sanguíneos de ácidos grasos no esterificados (Cavestany *et al.*, 2005), los cuales son llevados al hígado para convertirse en Acetil-CoA. Éste, tiene tres destinos: puede utilizarse como fuente de energía, esterificarse a triglicérido o seguir la vía de la cetogénesis (Noro y Barboza, 2012).

La cetosis, enfermedad que se relaciona con altos niveles de cuerpos cetónicos, tiene efecto directo en la depresión de la actividad inmunitaria (Lam, 2013). Por tanto, la medición de los recuentos celulares se puede tomar como punto de referencia a la hora de valorar los efectos del balance energético negativo. Carvalho *et al.* (2011) tampoco encontraron efecto del tratamiento sobre este indicador.

Sobre los recuentos celulares, además de la mastitis y la dieta, puede influir la etapa de lactancia. Generalmente, hay un mayor porcentaje de recuentos celulares en el inicio de la lactancia, pero el estudio sólo abordó los primeros 60 días post parto. Un estudio más prolongado, quizá, habría marcado un efecto semana sobre este indicador.

El análisis económico muestra un ahorro de casi US \$0.29.vaca⁻¹.día⁻¹, cuando se utilizó el glicerol en la dieta. Es importante señalar que este sistema permite pagar hasta US \$ 200.t⁻¹ de glicerol crudo. Sin embargo, el incremento en los niveles de producción de dicho subproducto sugiere disminución en su precio (Kerr *et al.*, 2007).

Conclusiones

La sustitución de maíz por glicerol en la dieta de vacas lecheras altas productoras, a razón del 9% de la materia seca, no afecta la producción de leche. Sin embargo, puede llegar a disminuir el porcentaje de grasa y de nitrógeno ureico en la misma. Por otro lado, la producción y calidad de la leche se afecta con relación al tiempo, con excepción de la lactosa y los recuentos celulares. Se recomienda el empleo de esta proporción de glicerol en la dieta de las vacas lecheras debido a los beneficios que se obtienen desde el punto de vista económico y ambiental; y se sugiere el estudio con otros niveles de inclusión.

Literatura citada

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1990). *Official Methods of Analysis*. 15th ed. Association of Analytical Chemists, Washington, DC. 684 pp.
- Bodarski, R.; Wertelecki, T.; Bommer, F. y Gosiewski, S. (2005). The Changes of Metabolic Status and Lactation Performance in Dairy Cows Under Feeding TMR With Glycerin (Glycerol) Supplement at Periparturient Period. *EJPAU* (Topic: Animal Husbandry). 8(4): 1-9.
- Cardoso, E.O.; Santana de, H.A.; Fernandes, Z.; Carvalho, A.H.; Santos dos, M.; Lucas, M.E.; Borges, C. y Souza, M. (2015). Utilização da glicerina na dieta de vacas lactantes em pastagens. *Revista eletrônica nutritime* 12(1): 3857–3878.
- Carvalho, E.R.; Schmelz-Roberts, N.S.; White, H.M.; Doane, P.H. y Donkin, S.S. (2011). Replacing corn with glycerol in diets for transition dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94(2): 908–916.
- Cavestany, D.; Blanc, J.E.; Kulcsar, M.; Uriarte, G.; Chilibroste, P.; Meikle, A.; Febel, H.; Ferraris, A. y Krall, E. (2005). Studies of the transition cow under and pasture-based milk production system: metabolic profiles. *J. Vet. Med. A.* 52(1): 1-7.
- Cerón-Muñoz, M.F.; Henao, A.F.; Múnera-Bedoya, Ó.D.; Herrera, A.C.; Díaz, A.; Parra, A.M. y Tamayo, C.H. (2014). *Concentración de nitrógeno ureico en leche: interpretación y aplicación práctica*. Fondo Editorial Biogénesis. Medellín, Colombia. 26 pp.
- Chung, Y.H.; Rico, D.E.; Martínez, C.M.; Cassidy, T.W.; Noirot, V.; Ames, A. y Varga, G.A. (2007). Effects of feeding dry glycerol to early postpartum Holstein dairy cows on lactational performance and metabolic profiles. *J. Dairy Sci.* 90(12): 5682-91.
- DeFrain, J.M.; Hippen, A.R.; Kalscheur, K.F. y Jardon, P.W. (2004). Feeding glycerol to transition dairy cows: Effects on blood metabolites and lactation performance. *J. Dairy Sci.* 87(12): 4195–4206.
- Donkin, S.S. (2008). Glycerol from biodiesel production: The new corn for dairy cattle. *R. Bras. Zootec.* 37 (Suplemento especial): 280-286.
- Donkin, S.S.; Koser, S.L.; White, H.M.; Doane, P.H. y Cecava, M.J. (2009). Feeding value of glycerol as a replacement for corn grain in rations fed to lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92(10): 5111–5119.
- Echeverría, W.; Mackinnon, L.; Alejandro, F. y Rótulo, J.P. (2010). *Efecto de la inclusión de niveles crecientes de glicerol en la dieta de vacas lecheras, sobre la producción y composición de la leche*. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía. Universidad de la República Oriental del Uruguay. Paysandú. Uruguay.
- Edmonson, A.J.; Lean, I.J.; Weaver, L.D.; Farver, T. y Webster, G. (1989). A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72(1): 68-78.

- Gaines, W.L. (1928). *The energy basis of measuring milk yield in dairy cows*. Bulletin No, 308. University of Illinois agricultural experiment station. United States. 50 pp.
- Galvis, R.D. (2004). Consideraciones acerca de la sostenibilidad fisiológica de la vaca de alta producción lechera. *Rev. Colomb. Cienc. Pec.* 17(3): 290-296.
- García, A. y Hippen, A. (2008). *Alimentación de las vacas lecheras para condición corporal*. <http://agbio-pubs.sdstate.edu/articles/ExEx4040s.pdf>. (Consultada el 28 de mayo de 2011).
- Grummer, R.R. y Rastani, R.R. (2003). When should lactating dairy cows reach positive energy balance? *ERPAS.* 19(3): 197-203.
- Haydock, K.P. y Shaw, N.H. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Animal Production Science*, 15(76): 663-670.
- Kerr, B.J.; Honeyman, M. y Lammers, P. (2007). *Feeding bioenergy coproducts to swine; crude glycerol*. <http://www.ipic.iastate.edu/publications/IPIC11b.pdf> (Consultada el 28 de mayo de 2011).
- Kramer, C.Y. (1956). Extension of multiple range tests to group means with unequal numbers of replications. *Biometric.* 12: 307-310.
- Lage, J.F.; Paulino, P.V.R.; Pereira, L.G.R.; Valadares-Filho, S.C.; Oliveira, A.S.; Detmann, E.; Souza, N.K.P. y Lima, J.C.M. (2010). Glicerina bruta na dieta de cordeiros terminados em confinamento. *PAB.* 45(9): 1012-1020.
- Lam, J. (2013). Monitoreo de cetosis bovina o acetonemia. *Revista Cooprinforma* 119: 6-9.
- Le-Du, Y.L.P. y Penning, P.D. (1982). *Animal based techniques for estimating herbage intake*. En: J. D. Leaver (Ed.). *Herbage Intake Handbook*. The British Grassland Society. Pp. 37-75.
- Marchelli, J.P.; Bruni, M.A. y Chilbroste, P. (2015). *Efecto de la sustitución de grano de maíz por glicerol crudo sobre el consumo y patrón de fermentación*. www.produccion-animal.com.ar (Consultada el 28 de mayo de 2015).
- Meglia, G.E. (2007). ¿Por qué las infecciones son más frecuentes al periparto? ¿Cuál es su relación con la nutrición de la vaca lechera? Jornada APROCAL-INTA Rafaela. Santa Fe, Argentina.
- Mota, C.J.A.; Silva da, C.X.A. y Goncalves, V.L.C. (2009). Glicerolquímica: Novos Produtos e Processos a partir da Glicerina de Produção de Biodiesel. *Quím. Nova*, 32(3): 639-649.
- Nicolini, P.; Chilbroste, P.; Laborde, D. y Meikle, A. (2013). Efecto del genotipo IGF-I sobre la producción de leche y la endocrinología metabólica en el periodo de transición en vacas lecheras en condiciones pastoriles. *SMVU*, 49(190): 16-27.
- Noro, M. y Barboza, C.S. (2012). Cetosis en rebaños lecheros: presentación y control. *Spei Domus.* 8(17): 48-58.
- NRC (National Research Council). (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th edition. National Academic Press, Washington DC. 406 pp.
- Orth, R. (1992). Sample Day and Lactation Report. DHIA 200 Fact Sheet A-2. Mid-States DRPC. Ames. IA.
- SAS Institute. (2010). *SAS/STAT 9.2. User`s Guide: Statistics, Version 9.2 Edition*. SAS Institute Inc. Universidad Estatal de Carolina del Norte. NC, United States.
- Shin, J.H.; Wang, D.; Kim, S.C.; Adesogan, A.T. y Staples, C.R. (2012). 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(7): 4006-4016.
- Van Cleef, C.B.; Haydt, E.; Ezequiel, B.; Maria, J.; Silva da, V.; Attuy, D.; Pastori, D.; Scarpino, D.O.; Pardo, P. y Mauricio, R. (2014). Glicerina cruda en la dieta de bovinos: efecto sobre los parámetros bioquímicos séricos. *RECIA.* 6(1): 86-102.
- Van Soest, P.V.; Robertson, J.B. y Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74(10): 3583-3597.
- Walsh, R.B.; Walton, J.S.; Kelton, D.F.; LeBlanc, S.J.; Leslie, K.E. y Duffield, T.F. (2007). The effect of subclinical ketosis in early lactation on reproductive performance of postpartum dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90(6): 2788-2796.
- Wheeler, B. (2010). *Recomendaciones para la alimentación de las vacas lecheras* http://www.portalechero.com/ver_items_descrip.asp?wVarItem=3987 (Consultada el 28 de mayo de 2011).

Zacaroni, O.F. (2010). *Respostas de vacas leiteiras à substituição de milho por glicerina bruta*. Tesis de maestría. Universidade Federal de Lavras. Lavras, Brasil.

Zymon, M.; Strzetelski, J.; Furgał-Dierżuk, I.; Kowalczyk, J. y Osięgłowski, S. (2012). The effectiveness of rapeseed cake and glycerine in feeding dairy cows. *J. Anim. and Feed Sci.* 21(1): 49–64.

Recibido: 15 de enero de 2016

Envío a arbitraje: 04 de marzo de 2016

Dictamen: 22 de junio de 2016

Aceptado: 30 de septiembre de 2016